

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování



Aplikace metod technické diagnostiky ve firmě PF PLASTY CZ

Applications of Technical Diagnostic Methods in PF PLASTY CZ Company

Student:

Jan Stuchlý

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Stuchlý

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

Aplikace metod technické diagnostiky ve firmě PF PLASTY CZ
Applications of Technical Diagnostic Methods in PF PLASTY CZ
Company

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce zpracujte problematiku možností aplikace metod technické diagnostiky na zařízení ve firmě PF PLASTY CZ, s.r.o. Vyberte vhodné zařízení a správně aplikujte metody technické diagnostiky. Proveďte rozbor vhodných postupů a metod pro měření, zvolte vhodná měřicí místa pro provedení měření a umístění snímačů. Proveďte provozní měření a tyto měření analyzujte. Na základě výsledků analýz zhodnoťte současný stav, popř. navrhněte možné odstranění nebo zlepšení současného stavu.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce nebo firma PF PLASTY CZ, s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedbucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedení vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18.5.2015.....

Jar. Vachý.....

podpis

Prohlašuji že,

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2015



podpis

Jan Stuchlý

Družstevní 157, 747 24 Chuchelná

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Stuchlý, J. *Aplikace metod technické diagnostiky ve firmě PF PLASTY CZ: Bakalářská práce*. Ostrava: katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2015, 61 stran. Vedoucí práce Blata, J.

Bakalářská práce je zaměřena na technickou diagnostiku v plastikářské firmě. Úvodní část nás seznamuje s firmou PF PLASTY CZ. Dále popisuje elektromotory, čerpadla a teorii metod vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky, která byla použita pro analýzu stroje ENGEL Victory. Praktická část je zaměřena na popis měření a měřidel. A to analyzátoru vibrací, postupu měření a použitých zkoušek tribodiagnostiky. Provedu rozbor a celkové zhodnocení dat. V závěru je uvedeno doporučení, opírající se o naměřená data, které zajistí delší bezporuchový stav stroje.

ANNOTATION OF THE BACHELOR THESIS

Stuchlý, J. *Applications of Technical Diagnostic Methods in PF PLASTY CZ Company*.: bachelor thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015, 61 pages. leadership: Blata, J.

The bachelor thesis is focused on a technical diagnostics in the plastic company. An introduction part acquaints us with the company PF PLASTY CZ. It also describes the electric motors, the pumps and the theory and methods of vibrodiagnostics and tribodiagnosics, that was used for analysis of the ENGEL Victory machine. In an practical part I will focus on a description of the measurement and gauges - an analyzer of vibration, measurement procedures and tribodiagnosics tests. I will do an analysis and an overall assessment of the data. Finally is mentioned recommendations based on the measured data to ensure a long trouble-free status of the machine.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů:.....	9
1.Úvod.....	10
1.1. PF PLASTY CZ s.r.o.	11
1.2. Strojový park PF PLASTY s.r.o.	12
1.3. Plasty	13
1.4. Zpracování termoplastů.....	14
2.Elektromotory	15
2.1. Konstrukce elektromotoru.....	15
3.Čerpadla	17
4.Technická diagnostika	19
5.Vibrodiagnostika.....	21
5.1. Snímače vibrací.....	21
5.2. Zásady pro umístění snímačů	23
5.3. Signál.....	24
5.4. Popis časového signálu	25
6.Tribodiagnostika	28
6.1. Zásady pro odběr vzorků.....	29
7.Aplikace vibrodiagnostiky	30
7.1. Analyzátor	30
7.2. Umístění snímačů.....	31
7.2.1. Umístění snímačů na stroji E14.....	31
7.2.2. Umístění snímačů na stroji E18.....	32
7.2.3. Umístění snímačů na stroji E26.....	32
7.2.4. Umístění snímačů na stroji E33.....	33
7.3. Analýza	33
7.3.1. Analýza vibrací stroje E14	35

7.3.2.	Analýza vibrací stroje E18	39
7.3.3.	Analýza vibrací stroje E26	41
7.3.4.	Analýza vibrací stroje E33	43
8.	Aplikace tribodiagnostiky:.....	45
8.1.	Odběr vzorků.....	45
8.2.	Technické informace o oleji a vzhled oleje.....	46
8.3.	Kinematická viskozita.....	47
8.4.	Číslo kyselosti	49
8.5.	Stanovení množství a velikost nečistot	50
8.6.	Obsah vody.....	52
8.7.	Atomová spektrometrie	53
9.	Vyhodnocení měření	55
9.1.	Zhodnocení vibrací.....	55
9.2.	Zhodnocení stavu oleje	56
10.	Závěr	57
	Použitá literatura	59
	Seznam příloh	61

Seznam použitých zkratk a symbolů:

Název:	Význam:	Jednotky:
ω	úhlové zrychlení	$[rad/s]$
π	číslo Pí (Ludolfovo číslo) - 3, 141592....	–
a	zrychlení	$[mm/s^2]$
atd.	a tak dále	–
č.	číslo	–
f	kmitočet	$[Hz]$
H	výška	$[m]$
m	hmotnost	$[kg]$
ml	mililitr – jednotka objemu	–
n	otáčky	$[ot/min]$
obr.	obrázek	–
Q	průtok	$[mm^3/s]$
RAMO	rychlá analýza motorových olejů	–
RMS	Root Mean Square (efektivních hodnota)	–
s.r.o.	společnost s ručením omezeným	–
T	doba jednoho kmitu	$[s]$
tab.	tabulka	–
tzn.	to znamená	–
v	rychlost	$[mm/s]$
x_{ave}	střední hodnota	–
x_{RMS}	efektivní hodnota	–

1. Úvod

Stejně jako je důležitá zdravotní diagnostika, tak i obor technická diagnostika je velmi užitečný a nutný nástroj, který umožňuje monitorování stavu stroje, jeho preventivní údržbu a zjišťování příčin poruchy. Svou bakalářskou práci jsem se rozhodl zaměřit tímto směrem.

Při výběru podniku, kde bych mohl uplatnit své znalosti, hrálo velkou roli zaměření daného podniku i znalost prostředí. Rozhodl jsem se pro PF PLASTY CZ s.r.o., která se nachází v místě mého bydliště.

Plast se dnes využívá v hojném množství ve všech odvětvích průmyslu. Převážně se výrobky z plastu dovážejí z Asie, proto je velmi obtížné pro tuzemské podniky udržet se na trhu. A v tom jim může pomáhat i technická diagnostika. Ta dokáže zajistit zamezení neplánovaných odstávek kvůli poruchám. Lepší údržba stroje také prodlužuje jeho životnost a nedochází k tak početné zmetkové výrobě díky poruše či závadě. To vše prodlouží či zvýší výrobu a produktivitu daného podniku a také zlepší jeho ekonomiku.

Cílem této práce je seznámit s problematikou technické diagnostiky v plastikářské firmě a její použití na vstřikovacích strojích. Firma PF PLASTY s.r.o. mi umožnila pracovat se stojem ENGEL Victory, který zde také podrobněji popíšu. Vibrodiagnostiku zaměřím především na pohonnou jednotku těchto strojů a to na elektromotor firmy WEG Lenze. Dále z odebraných olejových vzorků zhotovím tribodiagnostické testy. Dle naměřených hodnot určím, zda elektromotory nejsou nějak poškozeny, případně podám návrh, co a proč by se mělo opravit.

1.1. PF PLASTY CZ s.r.o.

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [1].



Obr. 1 Vstup do firmy PF PLASTY s.r.o.

PF PLASTY CZ s.r.o. funguje již od roku 1951. Je zaměřená na oblast výroby vstříkovacích forem a výlisků z termoplastu. Sortiment výroby je rozsáhlý a zasahuje do oblastí automobilového, farmaceutického a elektrotechnického průmyslu. Také zde nalezneme výrobky pro zahradní techniku, elektroniku atd.



Obr. 2 Výlisky pro automobilový průmysl

Firma má 275 zaměstnanců a její roční obrat je 300 miliónů Kč. K tomu přispívá i to, že mimo zakázkové výroby nabízí také vlastní sortiment, který je zaměřen na výrobu hraček, domácích a zahrádkářských potřeb, jenž dodává do velkoobchodních tak i maloobchodních sítí.

Firma PF PLASTY s.r.o. exportuje své výrobky do Německa, Francie, Polska, Slovenska, Maďarska a Španělska.

Areál firmy zahrnuje nejen vstřikovací linky, ale také vlastní oddělení konstrukce, nástrojárny, zkušebny, montážní a recyklační linky.

Svým zákazníkům firma nabízí nejen návrh výrobků, konstrukci vstřikovacích forem a jejich výrobu, ale také výrobky odzkouší, přidá referenční vzorky a protokoly o měření.



Obr. 3 Areál firmy

1.2. Strojový park PF PLASTY s.r.o.

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [1].

Ve svém areálu má firma nejvíce zastoupeny vstřikovací lisy značky ENGEL a ZHAFIR. Také mají čtyři vstřikovací lisy pro dvoukomponentní vstřikování.



Obr. 4 Lisy firmy ENGEL

1.3. Plasty

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [2], [3].

Plast jak ho známe, tvoří organické, nebo syntetické polymery a aditiva. Výroba syntetického polymeru se provádí chemicky z monomerů a to buď polymerací, nebo polykondenzací. Aditiva přidáváme pro zlepšení vlastností. Jsou to například maziva, která se přidávají pro lepší zpracování, různé stabilizátory, chránící plast před vlivem teploty, plniva, barviva atd. Vzniklý plast se pak transportuje v podobě prášku, granulátu nebo suché směsi k dalšímu zpracování.

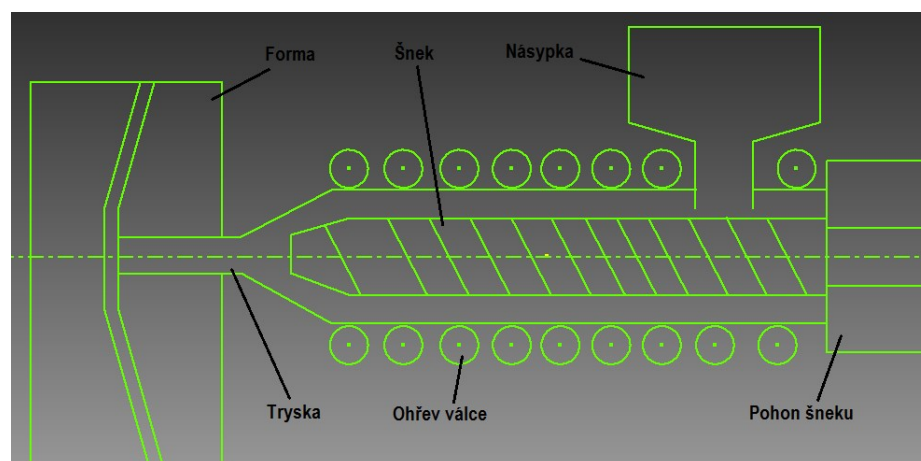
Rozdělení plastů:

- Syntetické,
 - polymerizáty – termoplasty (polyethylén, polypropylén atd.),
 - polykondenzáty – termoplasty (polykarbonát, polyamidy atd.)
a reaktoplasty (pryskyřice, silikony atd.)
- Přírodní,
 - termoplasty (nitrát, acetát, propionát a acetobutrát celulózy),
 - reaktoplasty (vulkánfibr, kaseinové plasty).

1.4. Zpracování termoplastů

Nejčastěji se zpracovávají termoplasty. Ty mají vlastnost opakovaného ohřevu. To znamená, že zmetky a odpad je recyklován a opět připraven k dalšímu použití. Termoplasty, dle složení, mají dobrou pevnost, houževnatost, tažnost, ohybovou a vzpěrnou tuhost.

Zpracování termoplastů je různé. Od válcování až po vyfukování. Nejrozšířenější je technologie vstřikování. Při vstřikování termoplastů je základní surovinou plastový granulát, který se sype do zásobníku vstřikovacího lisu. Odtud se granulát dostává do prostoru s plastifikačním šnekem. Komora se šnekem je vyhřívána, tudíž se granulát nejen posouvá, ale také postupně taví. V poslední fázi, když je plast zcela roztaven, ho šnek vytlačí velkou rychlostí přes trysku až do formy. Tam plast ztuhne, poté se otevře forma v dělicí rovině a výrobek se vyjme. Forma se zavře a proces se opět opakuje. V dnešní době toto probíhá v plně automatizované výrobě.

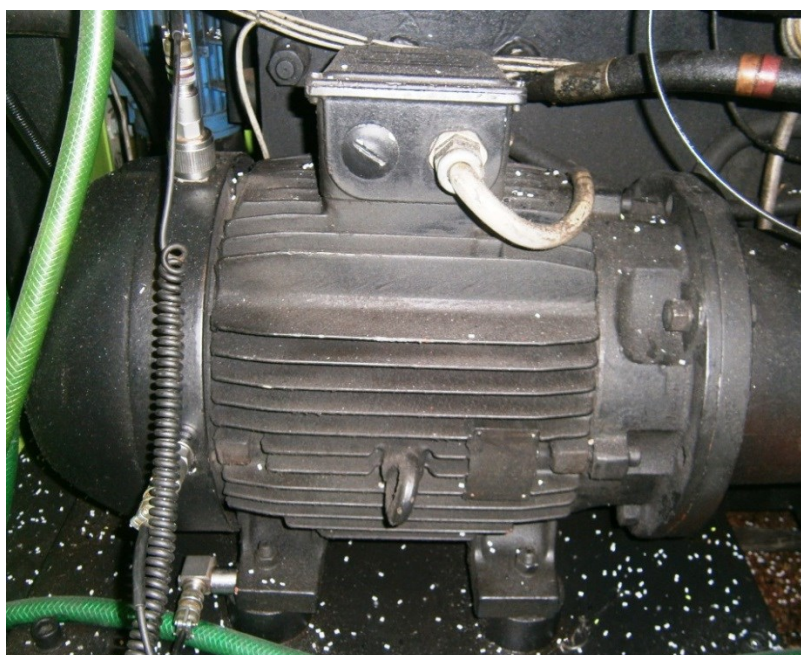


Obr. 5 Jednoduché schéma technologie vstřikování

2. Elektromotory

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [4], [5].

Jsou to elektrické stroje, které mění dodávanou elektrickou energii na mechanickou práci. Fungují na principu využívání účinků magnetického pole. Elektromotor, respektive polaritu a sílu elektromagnetů lze řídit pomocí množství dodávané elektrické energie.



Obr. 6 Elektromotor WEG Lenze

2.1. Konstrukce elektromotoru

Kromě mechanické konstrukce, která je tvořena nosnými částmi, přírubami, kryty, ložisky atd., se elektromotor skládá ze dvou hlavních částí, a to z:

Rotoru – rotující část elektromotoru, jež obsahuje magnetické vinutí. Spolu s rotorem je na hřídeli umístěn také komutátor, na kterém jsou sběrné kartáčky.

Statoru – to je nerotující, pevná část stroje. Na statoru bývají umístěny cívky s magnetickým obvodem, magnety a elektromagnety.

Dále se skládá z elektrického obvodu, který je tvořen vinutím (cívky s izolací) a magnetického obvodu, který je tvořen feromagnetiky.

Elektromotory můžeme rozdělit na:

- **Střídavé:**
 - synchronní – otáčení magnetického pole a rotoru je shodné,
 - asynchronní – magnetické pole je napřed oproti rotoru.
- **Stejnoseměrné** - ty využívají komutátor. Ten zapříčiňuje změnu směru proudu ve vinutí rotoru tak, aby se rotor otáčel pouze jedním směrem. Stejnoseměrné elektromotory můžeme dále rozdělit dle způsobu buzení na:
 - s trvalým magnetem,
 - s cizím buzením,
 - sériové,
 - paralelní,
 - sérioparalelní.
- **Univerzální** – v sériovém zapojení můžeme komutátorový motor napájet střídavým proudem.

3. Čerpadla

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [6], [7].

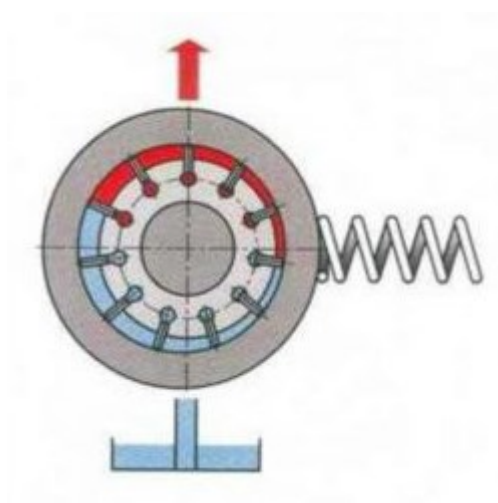
Jsou to stroje, které dodávají kapalině energii (vesměs tlakovou). V technické praxi se jich využívá nejčastěji k dopravě kapalin.

Čerpadla můžeme rozdělit dle pracovních podmínek na tři skupiny:

- **Hydrostatická čerpadla** (objemová) – přímo přeměňují mechanickou energii na energii tlakovou. Jsou to například pístová, zubová, lamelová, plunžrová a vřetenová čerpadla. Na rozdíl od hydrodynamických jsou účinnější a mají lepší sací schopnost. V technické praxi využíváme pro vyšší tlaky a menší průtok.

Rozdělení hydrostatických čerpadel:

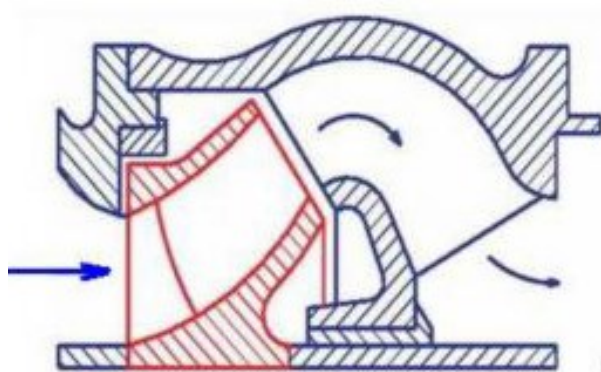
- rotační – lamelová, vřetenová, zubová atd.,
- s kmitavým pohybem – pístová, membránová, plunžrová atd.,
- s jiným pohybem – hadicová,
- kombinovaná čerpadla.



Obr. 7 Lamelové čerpadlo [6]

- **Hydrodynamická čerpadla** (odstředivá) - mají nepřímou přeměnu mechanické energie v energii tlakovou a to přes změnu kinematické energie. Díky tomu mají menší účinnost než hydrostatická čerpadla. Pracují s většími otáčkami a průtoky, jsou menší a lehčí.

Dle směru proudění kapaliny můžeme hydrodynamická čerpadla rozdělit na radiální, axiální a diagonální.



Obr. 8 Diagonální hydrodynamické čerpadlo [6]

- **Speciální čerpadla** – jsou to například čerpadla proudová.

Při práci s čerpadly musíme brát v potaz tři základní parametry. A to je:

- Průtok – je to objem dopravované kapaliny, který proteče daným místem za jednotku času. Značíme ho Q a jeho jednotky jsou $[mm^3/s]$
- Otáčky pohonu čerpadla n $[ot/min]$
- Dopravní výška H $[m]$

4. Technická diagnostika

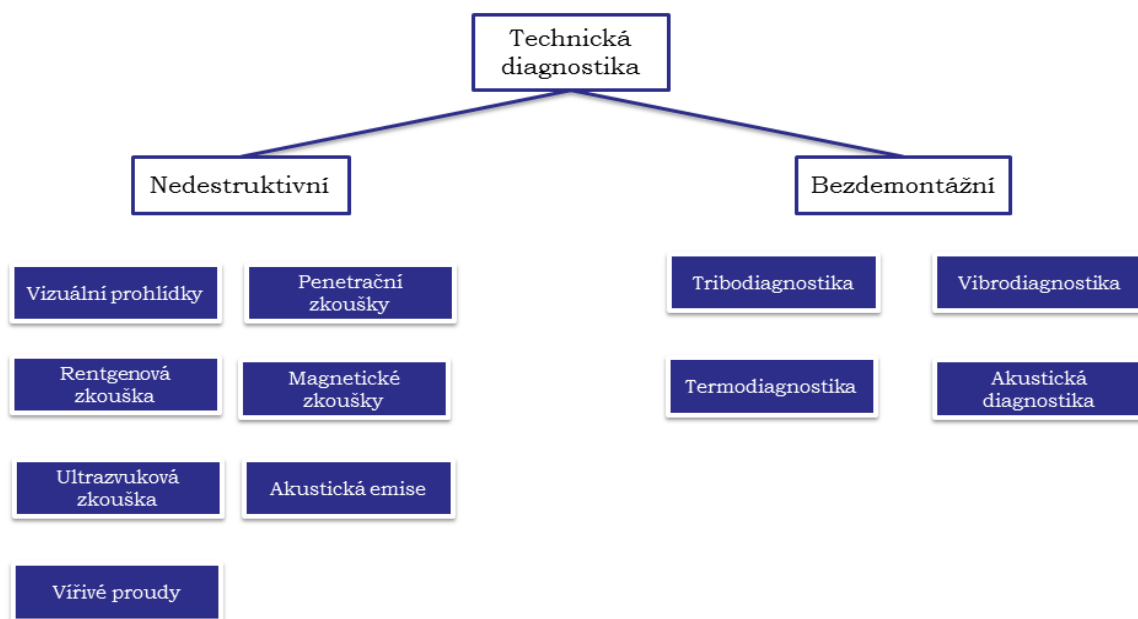
K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [8], [9].

Technická diagnostika je obor, který je zaměřen na odhalení poruch a zkoumání stavu kontrolovaného stroje. Díky technické diagnostice můžeme ušetřit značný finanční obnos. Toho docílíme monitorováním stavu stroje a včasnou identifikací a lokalizací poruchy. To nám umožní předem naplánovat odstávku stroje, tak abychom minimalizovali finanční ztráty. Zavedením technické diagnostiky také snížíme náklady na údržbu, předejdeme prostojům ve výrobě vzniklým poruchou a minimalizujeme zmetkovou výrobu způsobenou vadnou součástmi stroje.

Všechny diagnostické systémy úzce souvisí také s údržbou. Diagnostika je v podstatě důležitým krokem k účinné údržbě stroje. Díky vhodně zvolené metodě technické diagnostiky můžeme zjistit konkrétní místo, kde by se mohla porucha vyskytnout (proaktivní údržba). Také díky naměřeným hodnotám v delším časovém úseku můžeme odhadovat, jak se bude stav stroje měnit (prediktivní údržba).

Postupy technické diagnostiky jsou vesměs bezdemontážní a nedestruktivní, což je velmi výhodné, jelikož stroj můžeme kontrolovat jak v klidu, tak za provozu. Měření obvykle provádíme na několika místech, abychom získali co nejvhodnější soubor dat, který se následně (díky výpočetní technice) číslíkově zpracuje. Výsledkem je grafické zobrazení naměřených dat, s kterými můžeme dále pracovat a vyhodnocovat je.

Pro diagnózu máme mnoho rozličných metod, avšak ne každá je vhodná. Danou diagnostickou metodu vybíráme dle sledované fyzikální veličiny, kvůli které se může projevovat porucha. To může být například větší tření (v místě s větším třením se zvětšuje teplota), větší vibrace nebo hluk. Dále volíme dle toho, na jaký objekt se zaměříme a jaká je přístupnost k danému místu.



Obr. 9 Rozdělení technické diagnostiky

Další rozdělení technické diagnostiky může být např.:

- **Dle rozsahu**

- hloubková,
- komplexní,
- dílčí .

- **Dle času**

- cyklická (OFF-LINE),
- trvalá (ON-LINE),
- na objednávku.

- **Z hlediska vyhodnocení naměřené veličiny**

- kvalitativní,
- kvantitativní.

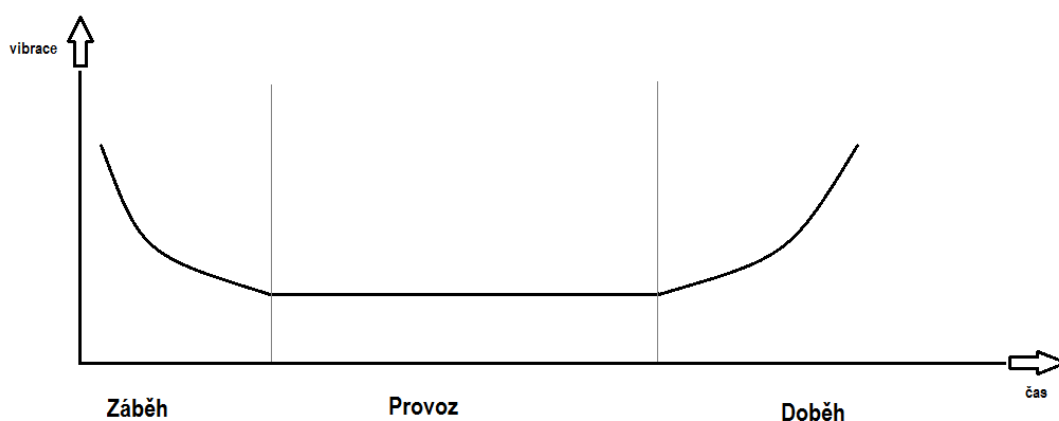
5. Vibrodiagnostika

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [9].

U každého stroje, kde je nějaký rotační pohyb, se vybudují vibrace. Ty pak následně snímáme a analyzujeme. Jelikož rotační pohyb je u strojů téměř všude, vibrodiagnostika je stěžejní metodou technické bezdemontážní diagnostiky. Díky ní můžeme detekovat vznikající poruchu, lokalizovat ji a predikovat čas, jaký zbývá do vzniku poruchy, popřípadě do nevratného poškození.

Vibrodiagnostické měření je vesměs prováděno za provozu, což neomezuje výrobu.

Četnost vibrací na čase můžeme vyjádřit v podobě vanové křivky.



Obr. 10 Vanová křivka

5.1. Snímače vibrací

K detekci vibrací nám slouží různé snímače vibrací. Ty měří mechanickou výchylku a převádí ji do elektronické podoby, s kterou můžeme dále pracovat.

Abychom mohli co nejefektivněji analyzovat dané místo, musíme si zvolit vhodný senzor. Ty vybíráme dle toho, co budeme měřit (s jakou frekvencí), jaký je přístup a jakou požadujeme přesnost.

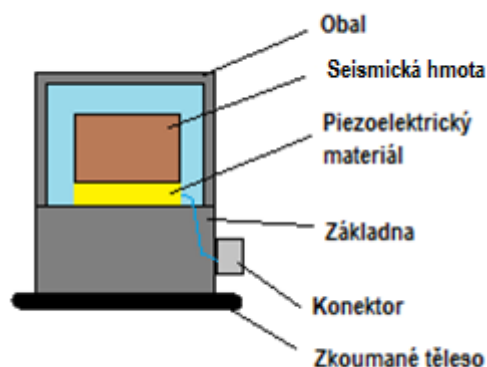
Základní rozdělení snímačů:

- Absolutní – seismické zařízení je připevněné na konstrukci stroje.
- Relativní – měří relativní výchylku mezi rotující a nerotující součástí stroje.

Dále můžeme snímače rozdělit dle veličiny, kterou měříme a to dle rychlosti, zrychlení a výchylky.

Všechny tyto tři veličiny můžeme měřit akcelerometry. Proto jsou akcelerometry nejvíce používané. Je to absolutní seismické měřidlo, které je tvořeno piezoelektrickým krystalem. Na stěnu krystalu, při měření, působí síla a to vybudí elektrický náboj, který je dále zpracováván. Akcelerometry se vyrábějí v různých velikostech a mají velký dynamický a frekvenční rozsah.

Akcelerometry můžeme rozdělit na tlakové a smykové, dle toho v jakém směru síla působí.



Obr. 11 Zjednodušené schéma akcelerometru

Další přístroje využívané ve vibrodiagnostice jsou například snímače rychlosti, snímače výchylky (polohy) a snímače otáček.

5.2. Zásady pro umístění snímačů

Abychom dosáhli správných a nezkreslených výsledků a provedli správnou analýzu, musíme respektovat některé provozní zásady. V opačném případě, kdybychom je nerespektovali, dojde k nesprávnému měření a zkreslení naměřených hodnot. To může mít za následek i poruchu stroje a v extrémních případech také zranění.

K získání nezkreslených dat musíme nejen použít vhodné snímače a měřicí zařízení, ale také správně umístit snímače. V první řadě musíme zvolit vhodné místo pro umístění snímače. Snímač musí být umístěn co nejbližší měřenému místu (např. ložisku), aby nedocházelo k útlumu signálu. Také snímač neumísťujeme na oplechování a přechody mezi materiály. Abychom správně zvolili nejvhodnější místo, musíme dobře znát konstrukci daného stroje. Ta je také důležitá při následném vyhodnocování výsledků.

Další faktory, které mohou ovlivňovat výsledky, jsou čistota jak snímačů, tak povrchu, na který snímač upevňujeme. Dále bychom měli vždy měřit na stejných místech, za stejných podmínek.

Měření provádíme v pravidelných intervalech, ve třech směrech. A to v horizontálním, vertikálním a axiálním směru.

Rozdělení připevnění snímačů:

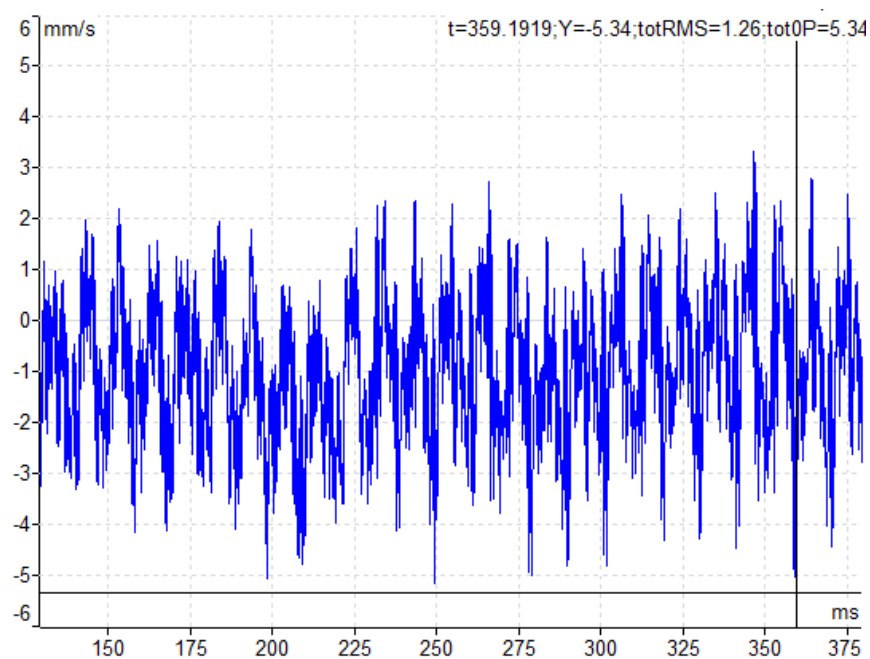
- ruční sonda se snímačem,
- připevnění permanentním magnetem,
- přilepení měkkým epoxidem,
- přilepení tuhým lepidlem,
- izolovaný šroubový spoj,
- pevný šroubový spoj.



Obr. 12 Příklad připevnění permanentním magnetem

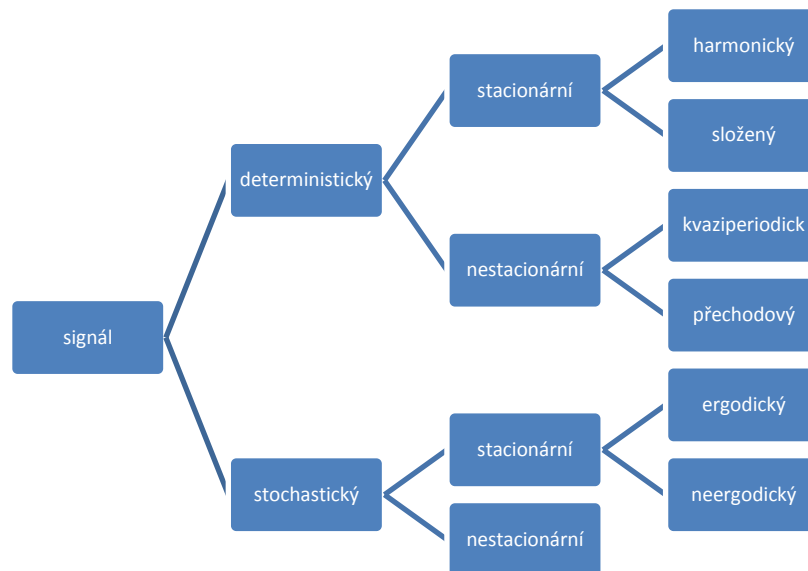
5.3. Signál

Je to výstupní hodnota získaná měřením vibrací.



Obr. 13 Příklad časového signálu

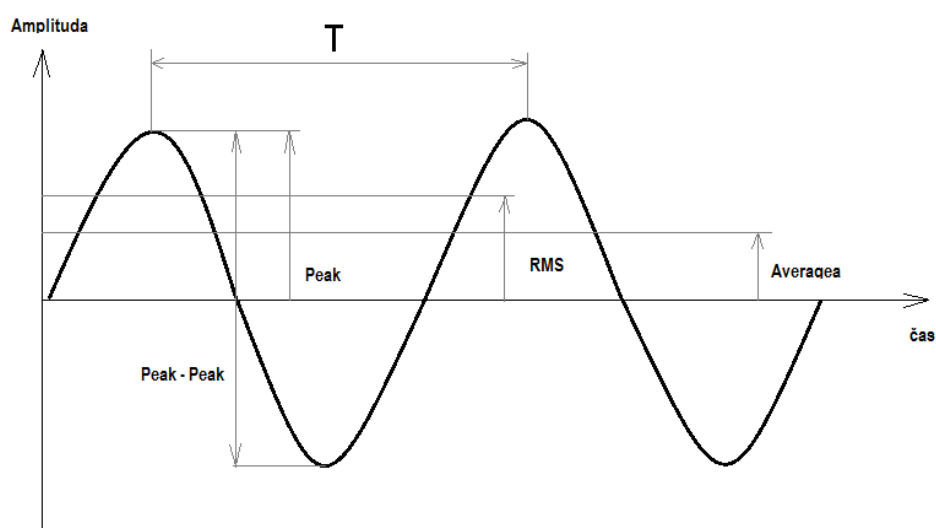
- Signál můžeme rozdělit:
 - podle tvaru na spojitý (analogový) a nespojitý (diskrétní),
 - dle časového průběhu:



Obr. 14 Rozdělení signálu dle časového průběhu

5.4. Popis časového signálu

Vibrace neboli kmitání můžeme rozdělit na periodické, neperiodické a náhodné.



Obr. 15 Časový signál

Kmitání je vratný pohyb, vykonávaný tělesem s hmotností m , na něž působí síly, které jsou charakteristické pro danou soustavu. Počet plných cyklů kmitavého pohybu za sekundu je kmitočet, který vyjadřujeme v Hz. Amplituda je maximální výchylka od středové polohy (Peak) a určuje kvantitativní hodnocení velikosti kmitání.

Frekvenci kmitočtu f vypočteme dle vztahu:

$$f = \frac{1}{T} [Hz]$$

Kde:

f – je kmitočet

T – je doba jednoho kmitu [s]

Peak – maximální vrcholová hodnota, která popisuje amplitudy krátkodobých jevů, mechanických rázů atd. Neodráží časový průběh.

Peak – Peak – největší rozkmit

Average – střední hodnota, nemá vztah k žádné fyzikální veličině, pouze odráží časové hodnocení chvění. Střední absolutní hodnotu vypočteme dle vztahu:

$$X_{ave} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt$$

RMS – je to efektivní hodnota (střední kvadratická hodnota). Pro nás velmi důležitá hodnota jelikož odráží jak časový průběh chvění, tak také v ní najdeme energetický obsah daného chvění. RMS je důležité k určení nebezpečnosti mechanického chvění. Hodnotu RMS vypočteme dle vztahu:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt}$$

Rychlost kmitání – určuje, jak rychle se body pohybují kolem své klidové osy

$$v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f} = \int a \cdot dt \quad [mm/s]$$

Zrychlení kmitání - určuje, s jakým zrychlením se body pohybují kolem své klidové osy

$$a = \omega \cdot v = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

Kruhová frekvence – udává, jakou vzdálenost urazí rotující bod (v radiánech) za jednotku času

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Výchylka – je to okamžitá vzdálenost kmitajícího bodu od jeho klidové polohy

$$y = \frac{a}{2\pi^2 \cdot f^2} = \int v \cdot dt$$

6. Tribodiagnostika

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [10].

Je jednou z metod technické bezdemontážní diagnostiky. Tribodiagnostika využívá mazivo jako médium, ze kterého získává informace o dějích a stavu stroje. Tak jako vibrodiagnostika, tak také tribodiagnostika má za úkol sledovat stav stroje a opotřebení strojních zařízení, zaznamenávat poruchy a lokalizovat je. Což vede k následné opravě a zlepšení nejenom stavu stroje, ale celého výrobního procesu. Toho můžeme docílit jak sledováním kvality samotného maziva, tak sledováním stavu opotřebení strojních zařízení, respektive sledujeme obsah a složení nečistot v mazivu.

Tribodiagnostiku můžeme tedy rozdělit do dvou skupin:

1) Sledování stavu opotřebení strojních zařízení

Do této skupiny patří:

- Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů
 - atomová spektrofotometrie,
 - atomová emisní spektrofotometrie,
 - atomová absorpční spektrofotometrie,
 - polarografie a voltametrie,
 - metoda RAMO.
- Metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic kovů
 - Ferografie – to je částicová analýza s vyhodnocením:
 - feroskopickým (chemické složení a morfologie).
 - ferodenzimetrickým (distribuce vzhledem k velikosti).

2) Sledování degradace samotného maziva

Hodnotí se zde fyzikálně chemické parametry maziva. Pracujeme s oleji a ty můžeme rozdělit na průmyslové a motorové. Proto do této skupiny patří

- Aplikace následujících testů:
 - kinematická viskozita,
 - bod vzplanutí,
 - obsah vody,
 - číslo celkové kyselosti a alkality,
 - conradsonův karbonizační zbytek,
 - kapková zkouška,
 - celkové znečištění,
 - mechanické nečistoty.
- Spektrální analýza olejů

6.1. Zásady pro odběr vzorků

Odebraný vzorek musí představovat průměrné složení maziva v zařízení. Vzorky by měly být odebírány jednou pověřenou a proškolenou osobou. Vzorky se odebírají do čistých vzorkovnic s obsahem 300 ml, které jsou řádně označeny. Odebíráme 200-250 ml maziva. Abychom odebrali reprezentativní vzorek, zařízení by mělo být v chodu alespoň 20 minut. To zajistí dostatečné promíchání a ohřátí oleje. Poté je nutno část (cca 500 ml) oleje odpustit a teprve poté můžeme odebrat vzorek.

Tab. 1 Příklad možného označení vzorkovnic s odebraným vzorkem

Stroj	
Mazané místo	
Druh oleje	
Datum odběru	
Odebral	

7. Aplikace vibrodiagnostiky

Dynamické namáhání stroje, zhoršený stav ložisek, nevývaha, nesouosost atd. vyvolává vibrace, které je nutno detekovat a odstranit příčinu. K tomuto účelu existuje mnoho přístrojů, metod a postupů.

7.1. Analyzátor

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [11].



Obr. 16 analyzátor A4400 - VA4 Pro [11]

Pro vibrodiagnostické měření bylo použito 4kanálového analyzátoru vibrací A4400 - VA4 Pro od firmy Adash. Kromě mnou využívaného rekordéru (pro záznam) a analyzátoru (pro vyhodnocení) má tento přístroj také mnoho dalších funkcí. Například lze provádět akustická měření, kontrolu mazání, provozní vyvažování atd. Pracuje s frekvenčním rozsahem maximální hodnoty 90 kHz a je možno na něm pracovat s obálkovou a řádovou analýzou. Má vstup pro čtyři snímače, ale při měření jsem využil pouze tři. A to vertikální, horizontální a axiální akcelerometrický snímač. Pro přichycení k měřenému místu mají snímače vestavěné silné permanentní magnety.



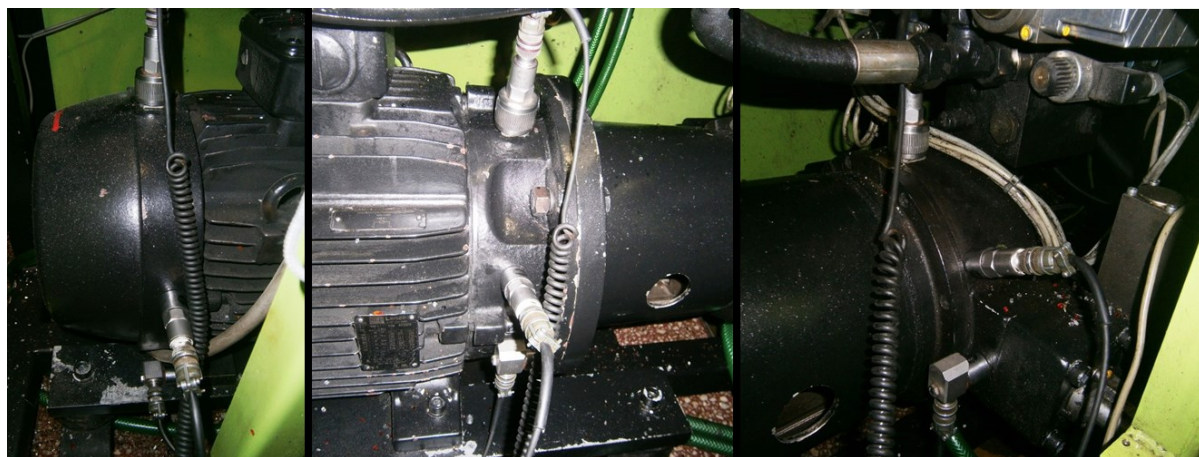
Obr. 17 Snímače

7.2. Umístění snímačů

Při umisťování snímačů jsem se snažil co nejvíce dbát na správné zásady pro umisťování snímačů. Avšak někdy jsem byl donucen snímač umístit dále od ložiska, nebo v horším úhlu. Například u strojů E 18 a E33 bylo hodně nemagnetických částí, kde bylo nemožné magnetický snímač přichytit, a masivní žebrování, které by zkreslovalo výsledky.

7.2.1. Umístění snímačů na stroji E14

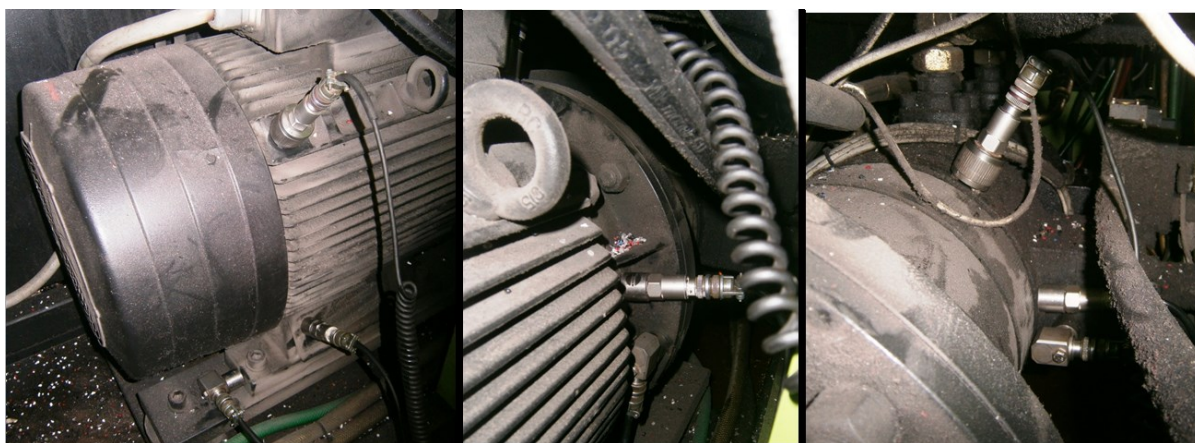
Při umisťování snímačů na elektromotoru stroje E14 nebyl žádný větší problém. Horizontální a vertikální snímač jsem se snažil umístit tak, aby úhel mezi nimi byl 45° . U ložiska L2 to nebylo možné kvůli výstupkům, u ložiska L3 také ne, jelikož v tom bránila skříňka čerpadla. Axiální snímač jsem u ložiska L1 musel umístit na patky elektromotoru, u ložiska L2 na spojku a u L3 na krabičku čerpadla.



Obr. 18 Umístění snímačů na stroji E14

7.2.2. Umístění snímačů na stroji E18

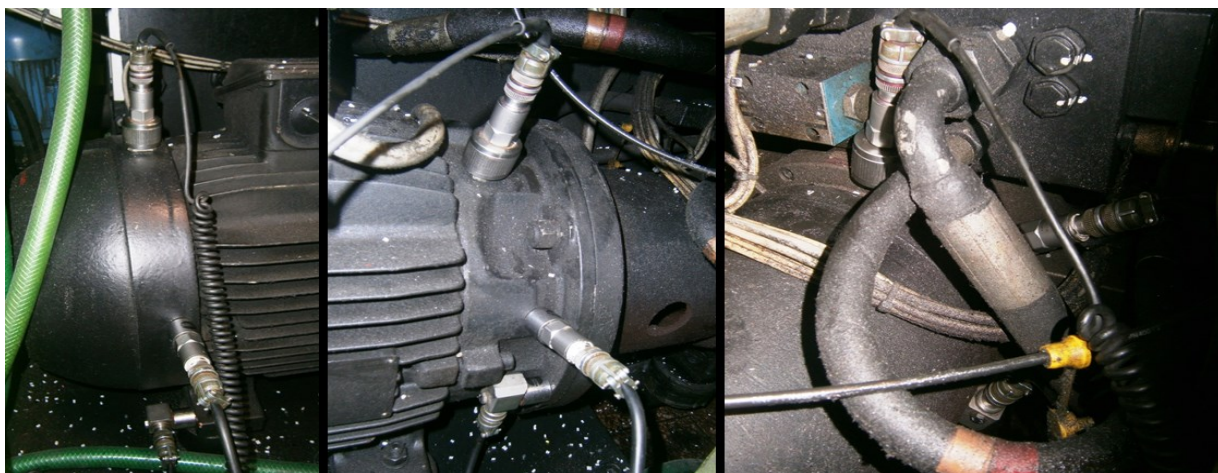
Umístění snímačů na tomto stroji bylo problematictější. Zadní kryt byl nemagnetický a na žebrování jsem snímače umisťovat nechtěl, jelikož by došlo ke zkreslení signálu. Proto jsem horizontální a vertikální snímače umístil (jak lze vidět na obr. 19) na plošky, avšak tato pozice není ideální. K čerpadlu byl špatný přístup a ke správnému umístění bránily hadice. Axiální snímač je umístěn na stejná místa jako u elektromotoru stroje E14.



Obr. 19 Umístění snímačů na stroji E18

7.2.3. Umístění snímačů na stroji E26

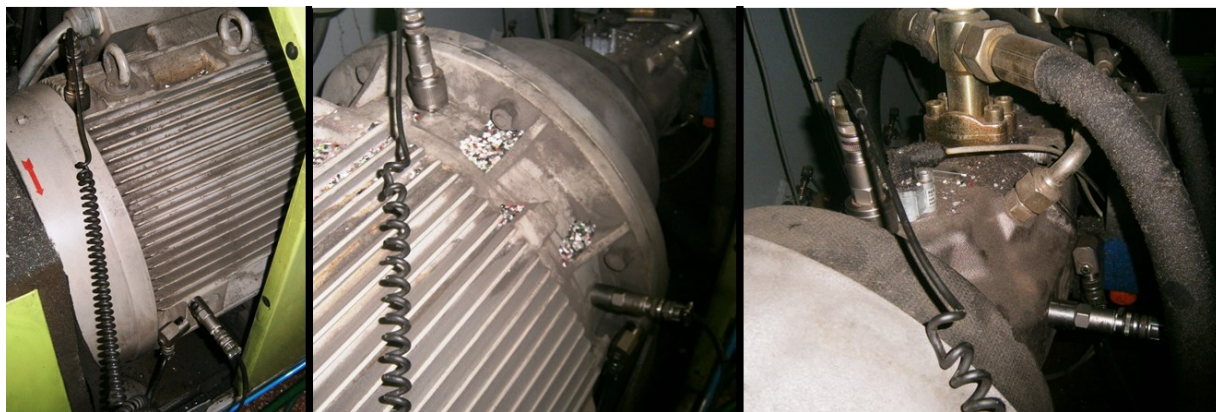
Zde bylo umístění snímačů téměř bezproblematické, až na horší přístup k čerpadlu. Umístění je téměř shodné s umístěním na elektromotoru stroje E14. Vertikální a horizontální snímač na ložisku L1 má mezi sebou úhel 45° , v místě L2 to není přesně 45° , jelikož tomu bránil výstupek, u čerpadla zase skříňka. Axiální snímač v místě L1 na patce, v L2 na spojce, v L3 na osazení.



Obr. 20 Umístění snímačů na stroji E26

7.2.4. Umístění snímačů na stroji E33

Zde bylo umístění snímačů obdobné jako u umístění na elektromotoru stroje E18., avšak k čerpadlu byl značně horší přístup. Nemagnetické části mi znemožňovaly přichycení snímačů na lepší místo, proto jsem se je snažil umístit na vhodnější místa, jak je vidět na obr. 21.



Obr. 21 Umístění snímačů na stroji E33

7.3. Analýza

Pro analýzu získaných dat jsem použil analyzátor od firmy Adash a to A4410 Virtual Unit. Pracoval jsem v sekci Analyzátor, kde jsem v šabloně nastavil správné parametry snímačů. Pro vertikální snímač jsem nastavil citlivost na 98.6mV/g, pro horizontální 93.7 mV/g a pro axiální snímač jsem nastavil také citlivost 93.7 mV/g.



Obr. 22 Pracovní plocha programu pro analýzu dat

Abychom mohli naměřené hodnoty s něčím porovnat, je nutné si stanovit referenční hodnoty. Ty nám udává norma ČSN ISO 10 816-3. Tato norma je stanovena pro stroje střední velikosti se jmenovitým výkonem 15 – 300 kW. Jelikož mnou měřené elektromotory mají jmenovitý výkon 18.5kW spadají do této skupiny. Dalším parametrem, dle kterého vybíráme referenční hodnoty je uložení. V našem případě se jedná o pružné uložení. Referenční hodnoty pro rychlost byly použity jak pro ložiska motoru, tak pro čerpadla.

Tab. 2 Norma ČSN ISO 10 816-3 [12]

Klasifikace uložení	Hranice pásma	Efektivní hodnota výchylky μm	Efektivní hodnota rychlosti mm/s
Tuhé	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
Pružné	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1

Pro vyhodnocení zrychlení jsem použil tyto referenční hodnoty:

Tab. 3 Referenční hodnoty zrychlení

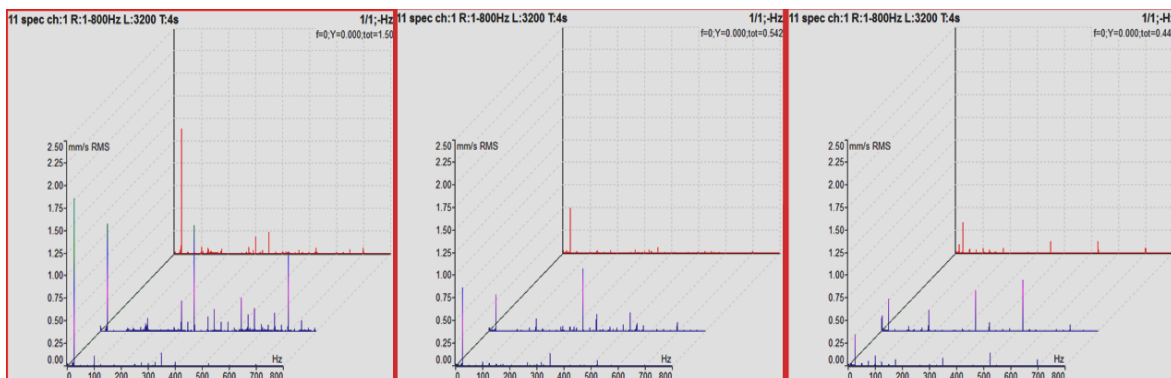
Měřicí místo	Hranice pásma	Efektivní hodnota zrychlení g
Motor	A/B	1
	B/C	1,2
	C/D	2,5
Čerpadlo	A/B	1
	B/C	1,5
	C/D	3

7.3.1. Analýza vibrací stroje E14

Dle hodnot rychlostí a zrychlení je patrné, že při záběru elektromotoru a čerpadla se zvětšuje jak rychlost tak zrychlení. Možnou příčinou tohoto zvýšení může být poškození ložisek. Při chodu na prázdko jsou hodnoty v pásmu A/B. V tomto pásmu lze stroj provozovat neomezeně.

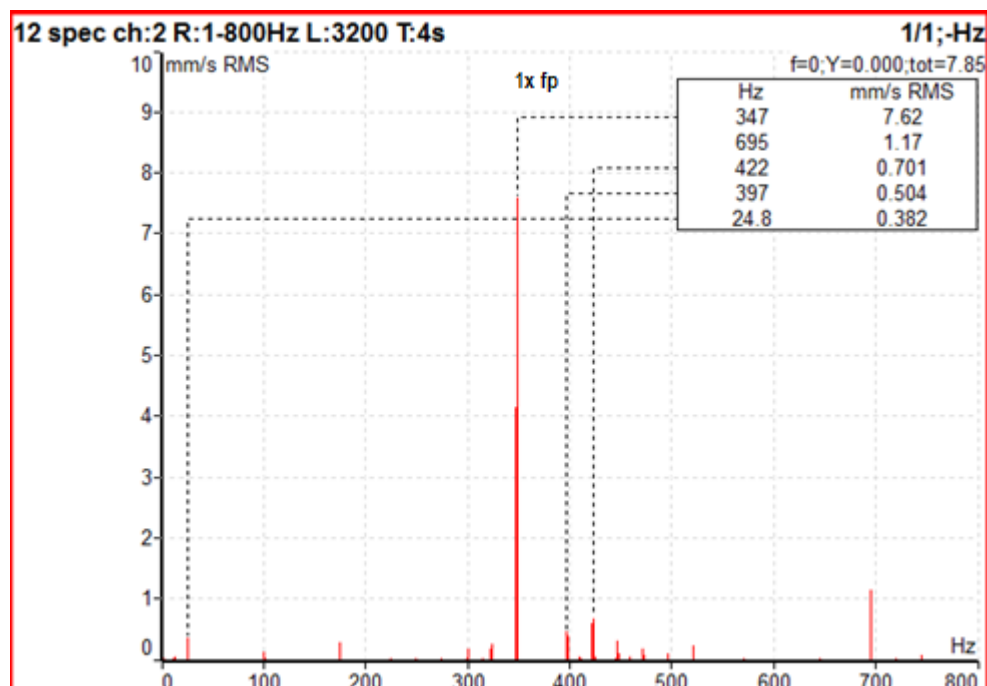
Tab. 4 Tabulka efektivních hodnot vibrací pro stroj E14

	stroj	E14								
	ložisko	L1 - Motor			L2 - Motor			L3 - Čerpadlo		
	snímač	V	H	A	V	H	A	V	H	A
1. měření 4.12.2014	rychlost v [mm/s]	2,0	0,7	0,8	0,9	0,9	0,7	0,5	1,2	0,6
	zrychlení [g]	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,4	0,4
	stav	Na prázdko								
2. měření 15.1.2015	rychlost v [mm/s]	2,8	8,9	1,2	1,1	3,0	1,1	1,2	4,4	2,7
	zrychlení [g]	1,1	1,2	0,3	0,5	0,5	0,7	3,6	2,9	1,5
	stav	V záběru								
3. měření 16.4.2015	rychlost v [mm/s]	1,5	0,9	0,6	0,5	0,7	0,4	0,5	1,1	0,6
	zrychlení [g]	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2
	stav	Na prázdko								

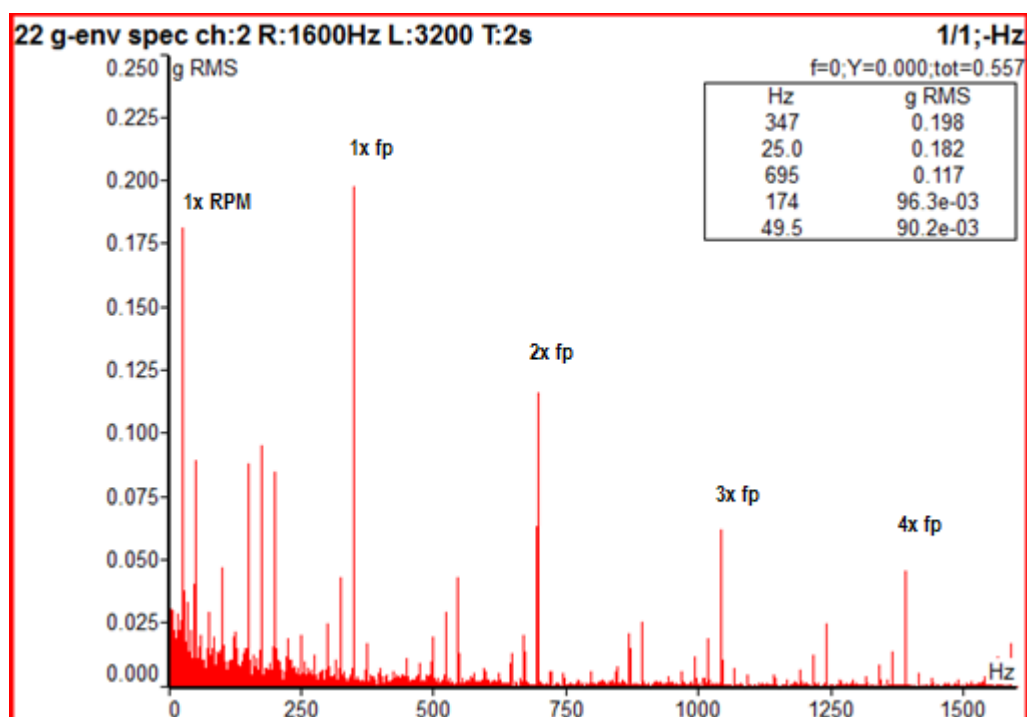


Obr. 23 Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru, v měřicích bodech L1-L3 stroje E14, první v popředí je první měření, dále druhé měření, v pozadí třetí měření

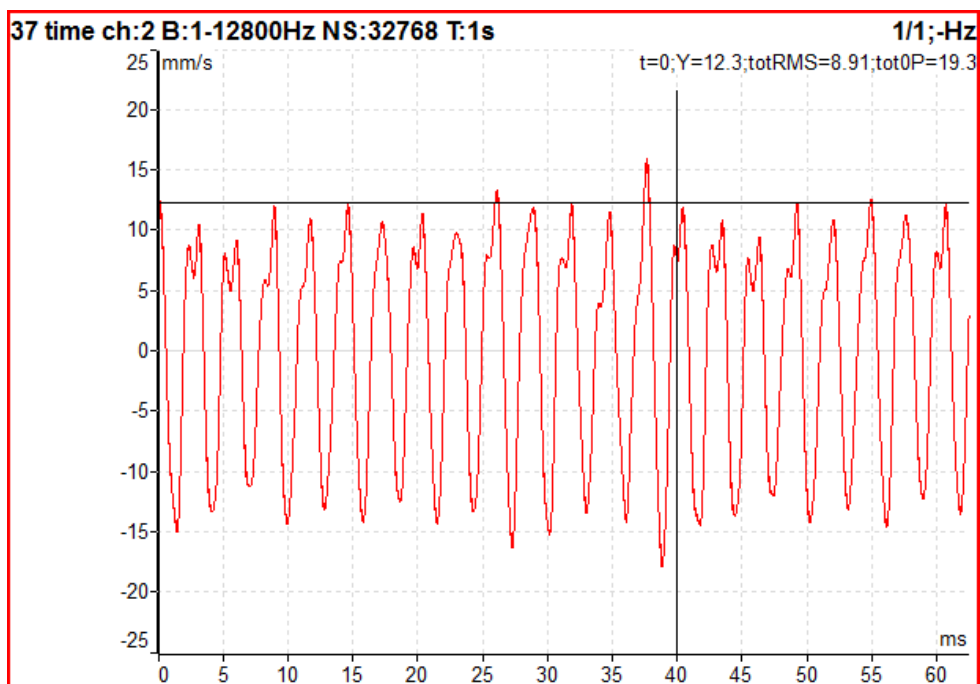
Z trendu efektivních hodnot rychlosti vibrací lze vidět, že největší hodnoty jsou v měřeném místě L1.



Obr. 24 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací (horizontální směr, měřící místo L1 druhé měření stroje E14)

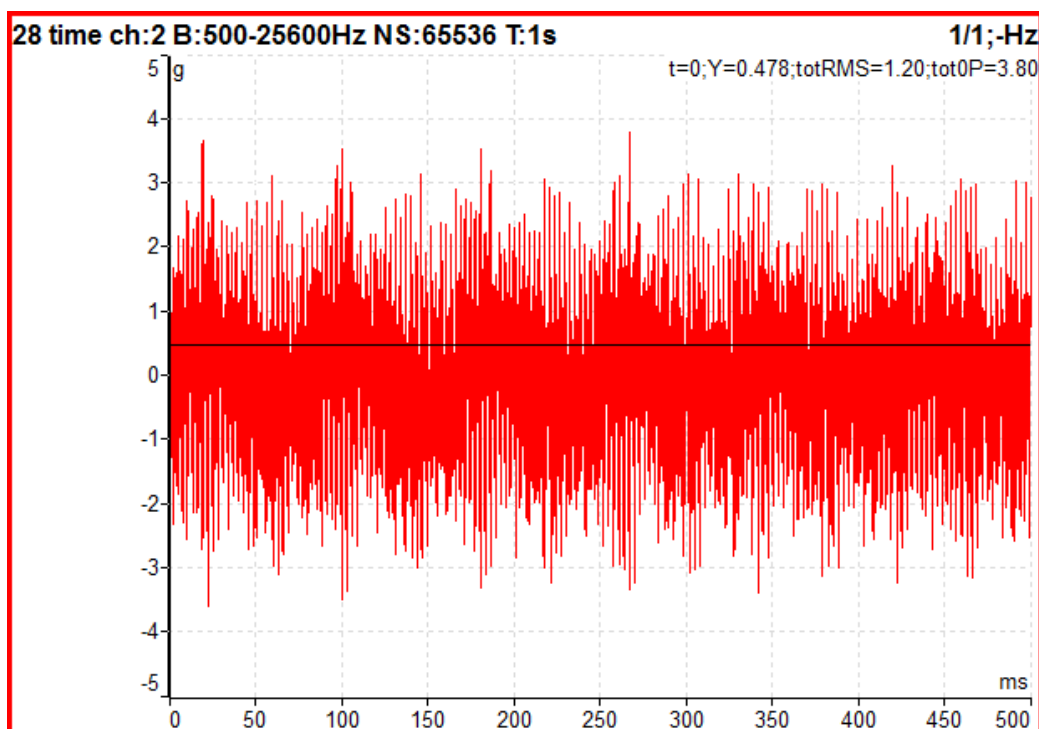


Obr. 25 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací (horizontální směr, měřící místo L1, druhé měření stroje E14)

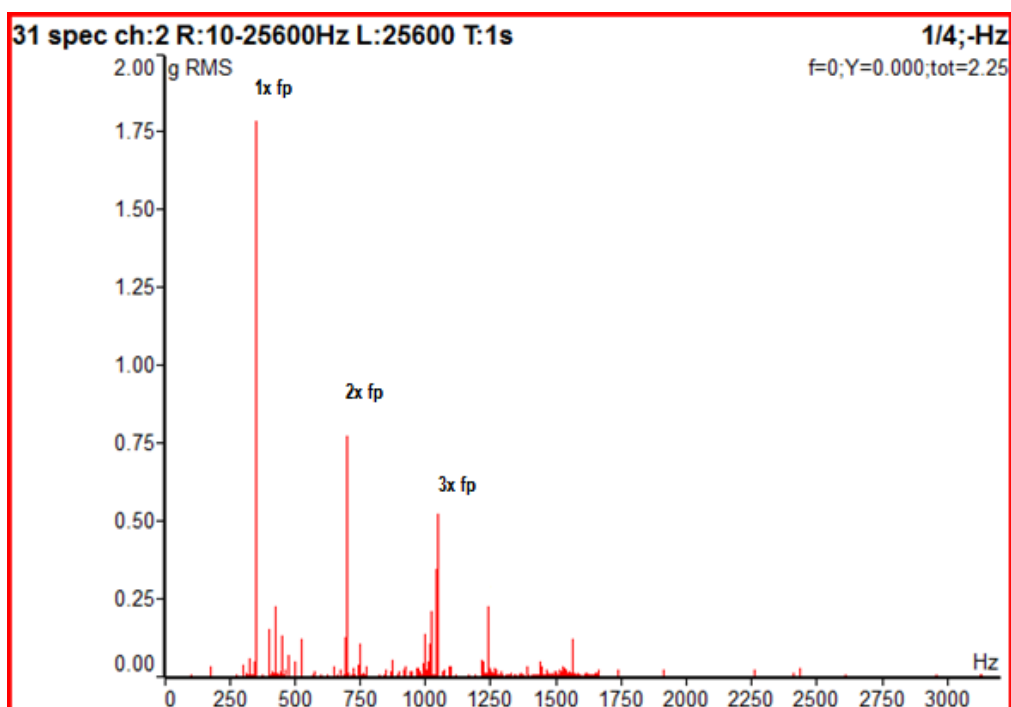


Obr. 26 Časový záznam efektivní hodnoty rychlosti vibrací stroje E14

Na obrázku 26 můžeme vidět vliv čtrnácti pístů za dobu jedné periody, tj. 40 milisekund.



Obr. 27 Časový záznam efektivní hodnoty zrychlení vibrací stroje E14



Obr 28. Frekvenční spektrum zrychlení stroje E14 měřicího místa L1 v horizontálním směru

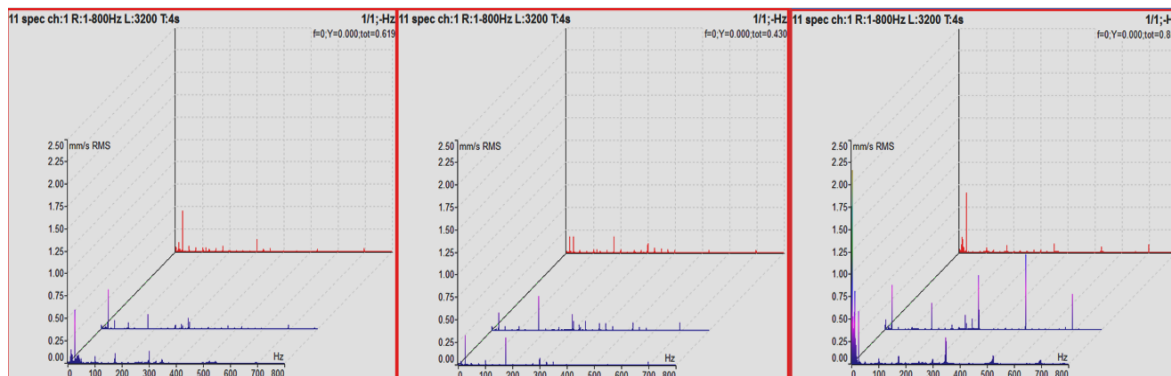
Na obrázku 28 lze vidět vyskytující se násobky pásma frekvence $f=347$ Hz. To svědčí o mírně zhoršeném stavu pístů v čerpadle, poškození však nemusí být vážné. Doporučoval bych sledovat stav stroje a v případě zhoršení provést kontrolu, případně opravu. Kolísavý stav těchto hodnot při jednotlivých měřeních je důsledkem nestandardního způsobu zatížení a je třeba tyto hodnoty nadále důkladně sledovat.

7.3.2. Analýza vibrací stroje E18

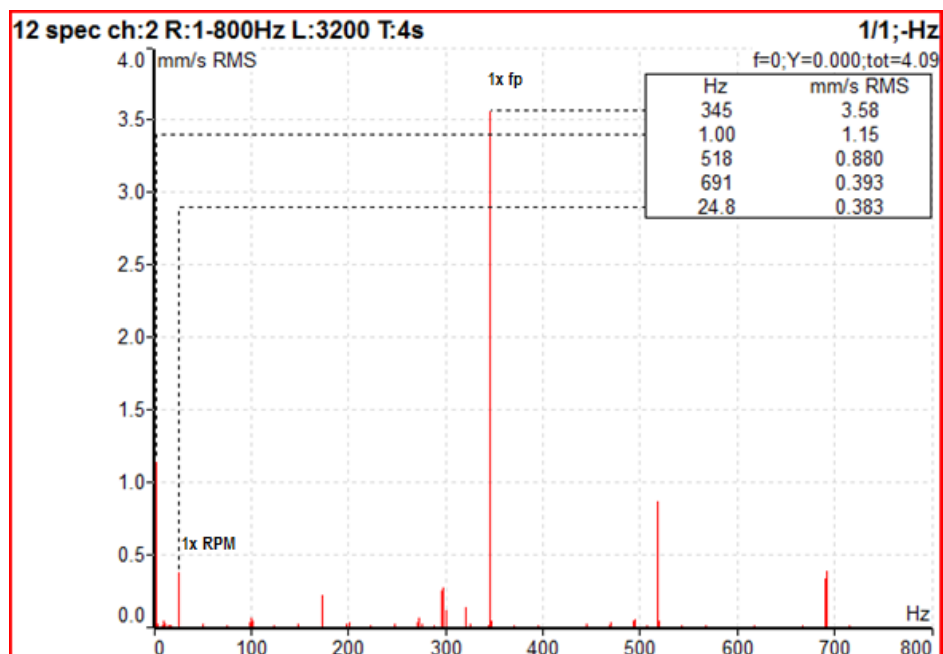
Z tab. 5 lze vidět, že při 1. měření byly všechny hodnoty v pásmu A/B, což je neomezeně dlouhý provoz, avšak z výsledků dalšího měření lze poznat, že se zhoršil stav ložisek čerpadla. Zvýšení vibrací lze vidět také na trendu efektivních hodnot na obr. 29.

Tab. 5 Tabulka efektivních hodnot vibrací pro stroj E18

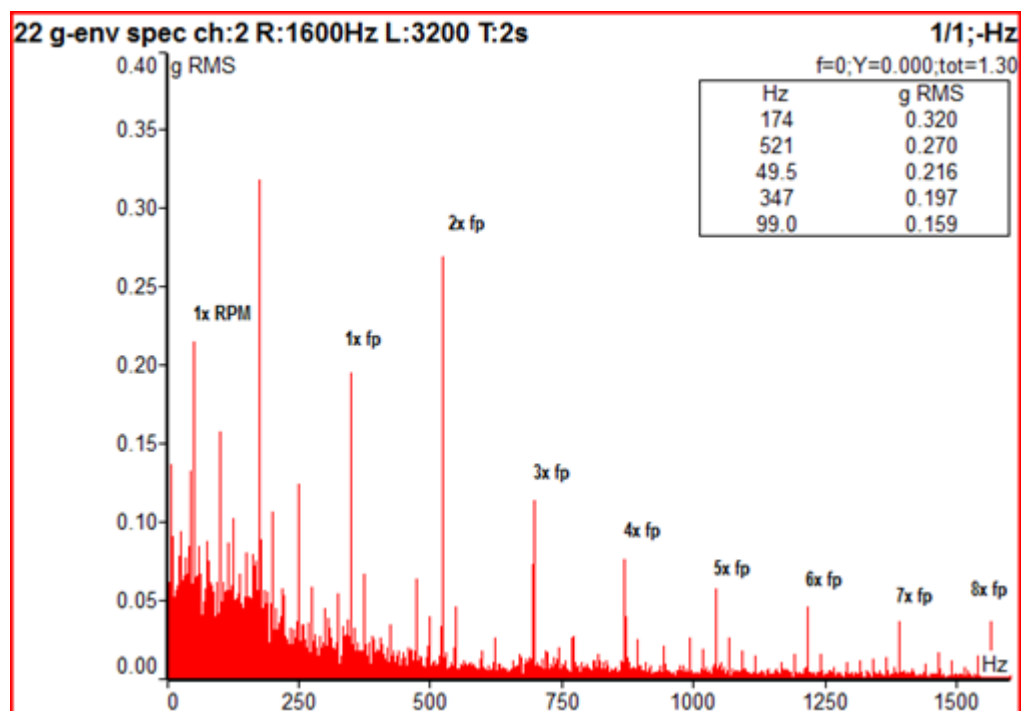
	stroj	E18								
	ložisko	L1 - Motor			L2 - Motor			L3 - Čerpadlo		
	snímač	V	H	A	V	H	A	V	H	A
1. měření 4.12.2014	rychlost v [mm/s]	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,7
	zrychlení [g]	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	0,3	0,3
	stav	V záběru								
2. měření 15.1.2015	rychlost v [mm/s]	0,6	0,9	1,9	0,6	2,0	0,6	1,7	4,3	2,2
	zrychlení [g]	0,3	0,2	0,2	0,9	0,6	0,8	3,0	3,6	2,2
	stav	Na prázdkno								
3. měření 16.4.2015	rychlost v [mm/s]	0,7	0,6	0,7	0,5	0,8	0,5	4,1	1,5	4,1
	zrychlení [g]	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4
	stav	V záběru								



Obr. 29 Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru, v měřicích bodech L1-L3 stroje E18, první v popředí je první měření, dále druhé měření, v pozadí třetí měření



Obr. 30 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací (horizontální směr, měřící místo L3, druhé měření stroje E18)



Obr. 31 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací (horizontální směr, měřící místo L3, druhé měření stroje E18)

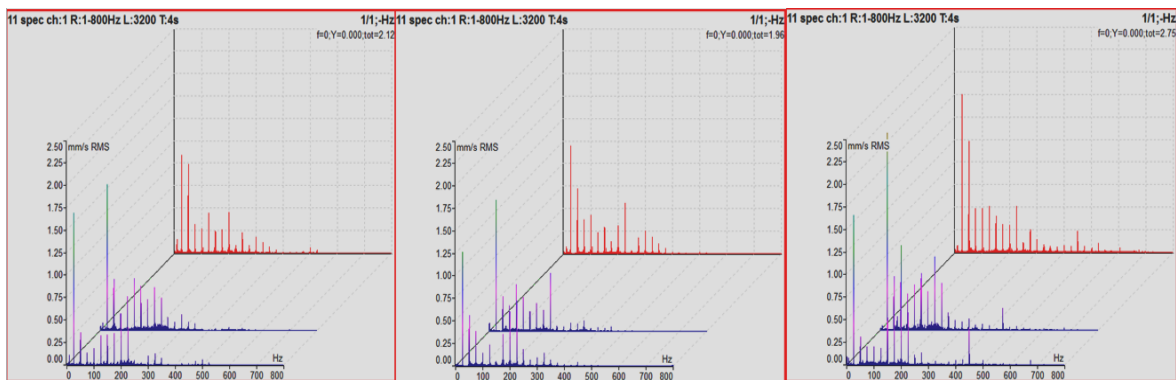
Na obrázku 31 můžeme vidět násobky pístové frekvence. 1x RPM je špička otáčkové frekvence.

7.3.3. Analýza vibrací stroje E26

Na ložiscích motoru a čerpadla stroje E26 lze vidět zvýšenou efektivní rychlost v horizontálním směru. Zvýšení se pohybuje v pásmu B/C.

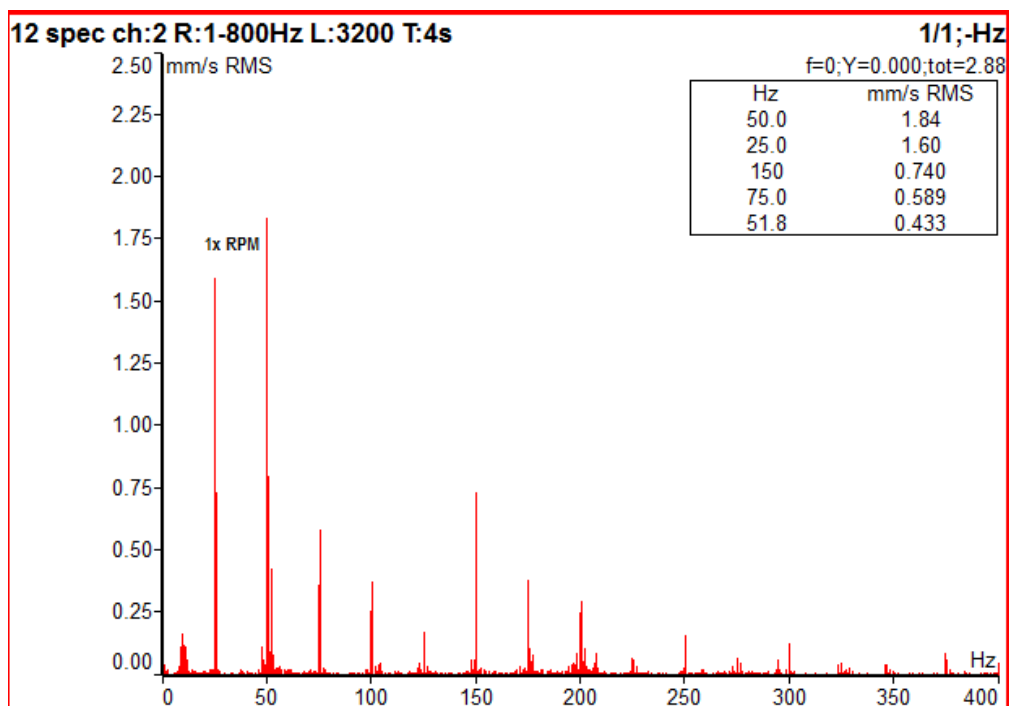
Tab. 6 Tabulka efektivních hodnot vibrací pro stroj E26

	stroj	E26								
	ložisko	L1 - Motor			L2 - Motor			L3 - Čerpadlo		
	snímač	V	H	A	V	H	A	V	H	A
1. měření 4.12.2014	rychlost v [mm/s]	2,1	2,4	1,6	1,9	2,1	1,4	2,7	3,7	1,6
	zrychlení [g]	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	1,8	0,9	0,9
	stav	V záběru								
2. měření 15.1.2015	rychlost v [mm/s]	2,3	2,5	1,6	2,0	2,1	1,3	2,9	3,2	1,5
	zrychlení [g]	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,4	0,9	1,4	0,7
	stav	Na prázdkno								
3. měření 16.4.2015	rychlost v [mm/s]	2,3	1,9	1,2	2,0	2,1	1,2	2,9	3,0	2,3
	zrychlení [g]	0,2	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,9	1,6	0,7
	stav	Na prázdkno								

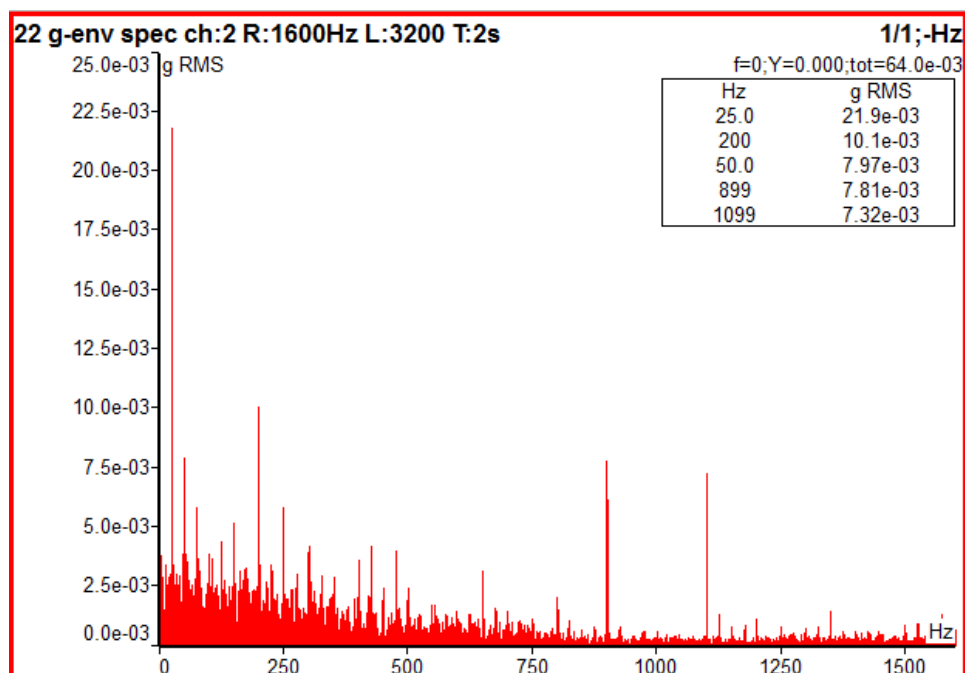


Obr. 32 Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru, v měřících bodech L1-L3 stroje E26, první v popředí je první měření, dále druhé měření, v pozadí třetí měření

Na trendu efektivních hodnot vibrací lze vidět harmonické násobky.



Obr. 33 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací (horizontální směr, měřící místo L3, třetí měření stroje E26)



Obr. 34 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací (horizontální směr, měřící místo L3, třetí měření stroje E26)

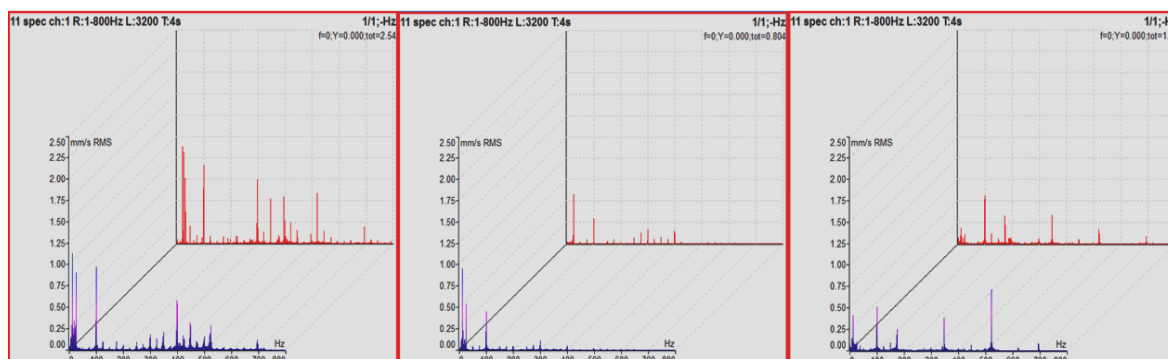
Z naměřených dat na stroji E26 jsem nebyl schopen identifikovat pístovou frekvenci.

7.3.4. Analýza vibrací stroje E33

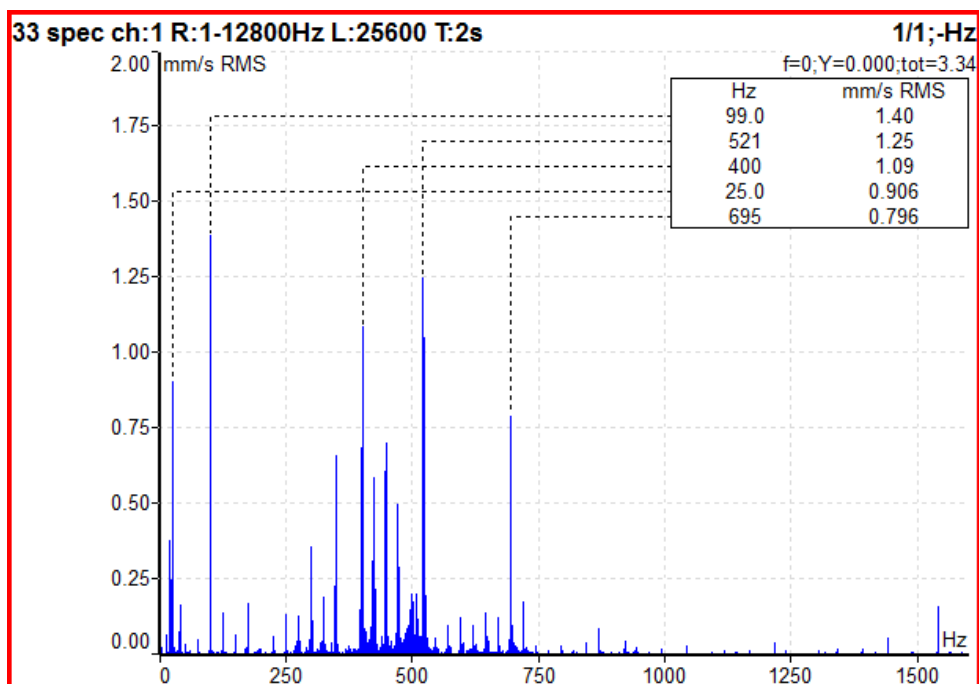
Na tomto stroji bohužel nebylo možné provést 1. měření. Další dvě měření probíhala za chodu stroje. V tabulce 7 vidíme zvýšené hodnoty ve vertikálním a horizontálním směru měřeného místa L1. Tyto hodnoty se pohybují v pásmu B/C. Toto zvýšení lze také pozorovat na trendu efektivních hodnot.

Tab. 7 Tabulka efektivních hodnot vibrací pro stroj E33

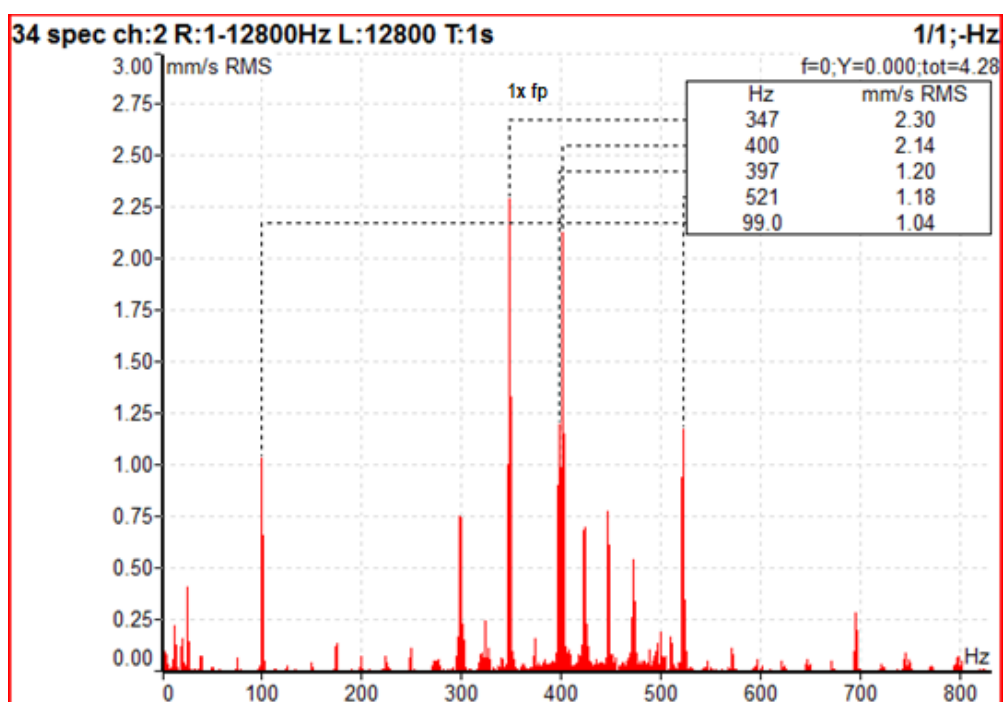
	stroj	E33								
	ložisko	L1 - Motor			L2 - Motor			L3 - Čerpadlo		
	snímač	V	H	A	V	H	A	V	H	A
1. měření 4.12.2014	rychlost v [mm/s]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	zrychlení [g]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	stav	-								
2. měření 15.1.2015	rychlost v [mm/s]	3,4	4,2	0,8	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1
	zrychlení [g]	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,3	0,7	0,6	0,6
	stav	V záběru								
3. měření 16.4.2015	rychlost v [mm/s]	1,6	1,4	0,9	2,3	1,6	2,1	0,7	1,0	0,8
	zrychlení [g]	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,3
	stav	V záběru								



Obr. 35 Efektivní hodnota rychlosti vibrací ve vertikálním směru, v měřících bodech L1-L3 stroje E33, první v popředí je první měření, dále druhé měření, v pozadí třetí měření



Obr. 36 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací (vertikální směr, měřicí místo L1, druhé měření stroje E33)



Obr. 37 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací (horizontální směr, měřicí místo L1, druhé měření stroje E33)

8. Aplikace tribodiagnostiky:

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [10].

8.1. Odběr vzorků

Odběr vzorků byl proveden novou injekční stříkačkou za pomoci hadičky z olejové nádrže, vrchním vstupním otvorem. Stroje byly v chodu, takže olej byl řádně promíchán a měl provozní teplotu. Odebráno bylo cca 250 ml oleje a byl uložen do označené vzorkovnice o obsahu 300 ml.



Obr. 38 Vstup do olejové nádrže

8.2. Technické informace o oleji a vzhled oleje

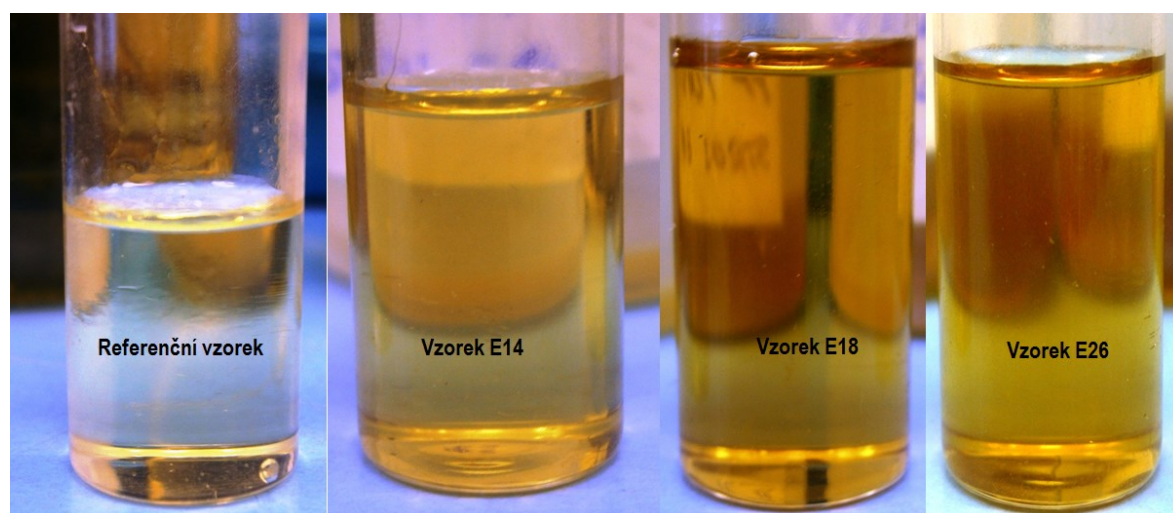
Olej, který jsem odebral je Madit OH-HM 46. Je to univerzální hydraulický olej, který má proti otěrové vlastnosti. Je vyráběn hydrogenerační rafinací ropného oleje. Obsahuje přísady, které zlepšují oxidační stálost, protikorozi a protiotěrové vlastnosti a přísady proti pění. Obsahuje také modifikátory viskozity.

Tab. 8 Hodnoty hydraulického oleje Madit OH-HM 46 dle výrobce

Hustota při 15°C	880 Kg/m ³
Kinematická viskozita při 40°C	41,4-50,6 mm ² /s
Kinematická viskozita při 100°C	6.44 mm ² /s
viskozitní index	105
Bod vzplanutí v otevřeném kelímku	190°C
Bod tečení	-30°C
Deemulgační charakteristika	40 min

Tab. 9 Čas a množství oleje

Vzorek	doba využití oleje	množství v nádrži
E14	1/2 roku	260 L
E18	1 rok	450 L
E26	4 roky	1000 L



Obr. 39 Olejové vzorky

8.3. Kinematická viskozita

Je to jedna z nejdůležitějších vlastností maziva. Charakterizuje vnitřní tření maziva. Při degradaci oleje se viskozita zhoršuje. To se může projevit:

- **zvyšováním viskozity** – to způsobují například meziprodukty oxidační povahy. Zvyšování viskozity může zapříčinit také tepelná a mechanická degradace aditiv. Vyšší viskozita zapříčiňuje energetické ztráty díky vyššímu tření.
- **snižováním viskozity** – v případě nízké viskozity může dojít k meznímu až suchému tření. Důsledkem tohoto děje je zvětšující se opotřebení.

Měření se provádí na kapilárních viskozimetrech. Druhy viskozimetrů dle ČSN: Ubbelohde, Pinkevič, Cannon-Fenske atd. Pro rozbor oleje jsem použil Ubbelohdeho viskozimetr s konstantou 0,0948.

Postup měření:

Baňku viskozimetru jsem naplnil olejem. Poté jsem nechal vzorek temperovat při teplotě 40°C. Vzorek se temperoval 30 minut, aby byl měl v celém obsahu stejnou teplotu. Poté jsem odsál vzduch a olej vystoupal až po vrchní rysku viskozimetru. Jakmile byl olej dostatečně vysoko, odebral jsem sání a nechal jsem olej pomalu klesat. V momentě, kdy olej dosáhl horní rysky, spustil jsem stopky. Když olej klesl až na dolní rysku, stopky jsem vypnul a naměřený čas jsem poté použil pro výpočet kinematické viskozity a to dle vzorce:

$$\nu = c \cdot \tau \text{ [mm}^2\text{/s]}$$

Kde: c – je konstanta daného viskozimetru,

τ – je doba průtoku viskozimetrem.

Tab. 10 Naměřené hodnoty kinematické viskozity

Vzorek	Kinematická viskozita při 40°C
E14	44,0 mm ² /s
E18	44,7 mm ² /s
E26	46,45mm ² /s

Dle normy má být kinematická viskozita v rozmezí 41,4-50,6 mm²/s. Mnou naměřené hodnoty jsou v tomto rozmezí. To znamená, že kinematická viskozita je v pořádku.



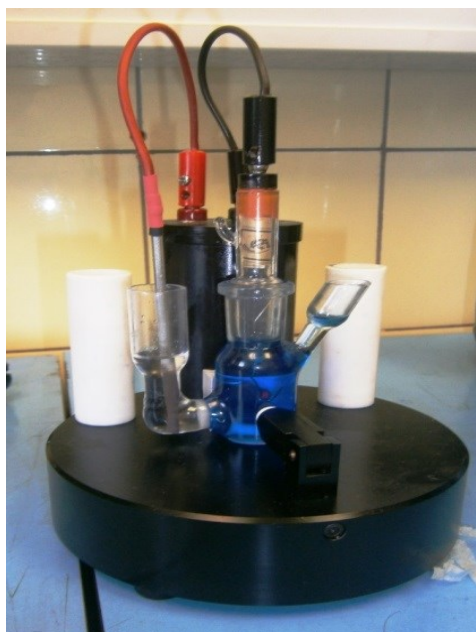
Obr. 40 Měření kinematické viskozity

8.4. Číslo kyselosti

Zvýšená kyselost oleje je negativní vliv. Zvyšuje korozivnost oleje, zvláště napadá citlivé ložiskové materiály (bronz) a způsobuje jeho degradaci. Organické kyseliny v oleji vznikají v důsledku jeho degradace. Ropa obsahuje naftenové a mastné kyseliny, tudíž olej, který obsahuje ropné složky, může také obsahovat tyto kyseliny.

Číslo celkové kyselosti (TAN)

Stanovuje se potenciometrickou titrací. Přesnost je stanovena maximálně $\pm 10\%$ stanovené hodnoty. Analyzujeme 1 gram vzorku oleje a sledujeme množství KOH v miligramech, které spotřebujeme na neutralizaci všech kyselých složek, které vzorek obsahuje.



Obr. 41 Coulometer

Tab. 11 Hodnoty čísla kyselosti

Vzorek	Číslo kyselosti
Referenční vzorek	0,251
E14	0,383
E18	0,271
E26	0,246

Z tabulky 11 můžeme vidět, že naměřené hodnoty se liší od referenčního vzorku. Nejvyšší rozdíl je pro stroj E14. U vzorku stroje E26 došlo k poklesu kyselosti oproti referenčnímu vzorku. Tyto rozdíly však nejsou nijak závažné.

8.5. Stanovení množství a velikost nečistot

Kód čistoty dle normy ISO 4406

Touto normou stanovíme kód čistoty, který definuje množství pevných částic v jednom mililitru oleje. Kód obsahuje troje čísla oddělená lomítkem např. 19/18/16.

- První číslo reprezentuje počet pevných částic větších než 4 μm .
- Druhé číslo reprezentuje počet pevných částic větších než 6 μm .
- Třetí číslo reprezentuje počet pevných částic větších než 14 μm .

Kód čistoty byl proveden na laserovém čítači částic od firmy Parker.



Obr. 42 Laserový čítač částic

Pro vzorek E26 a referenční vzorek proběhla dvě měření z důvodu ověření správnosti měření. U vzorků E14 a E18 nebylo k dispozici dostatečné množství oleje k provedení kontrolního měření.

Tab. 12 tabulka kódu čistoty

Vzorek	ČSN ISO 4406/99	>2 μ m	>5 μ m	>15 μ m	>25 μ m	>50 μ m	>100 μ m
E26	19/18/16	366578	191871	60392	27935	7107	439
	19/18/16	319378	182321	55750	26042	6392	395
E18	17/16/14	97507	48257	14307	7514	1771	109
E14	17/16/14	123271	44892	13071	6728	2128	135
referenční	16/15/12	44800	18557	3792	1742	464	28
	16/15/12	50157	19700	3935	1671	407	25

Z tabulky 12 je patrné, že nejhorší kód čistoty má vzorek E26.

Tab. 13 Část tabulky normy ISO 4406: Vyjádření čistoty kapaliny kódovým číslem

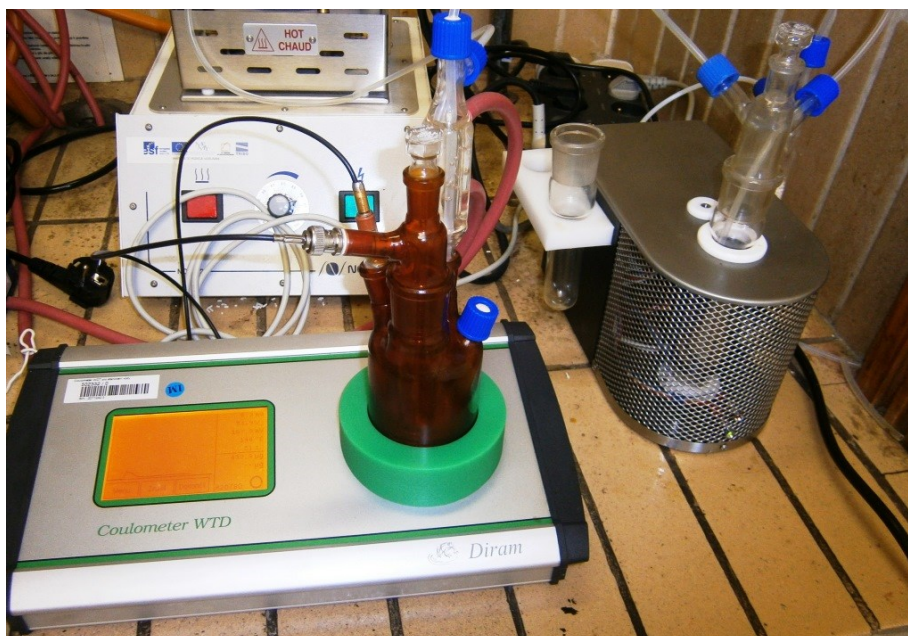
Kódové číslo	Počet částic v 1 ml	
	více než	méně než
12	20	40
14	80	160
15	160	320
16	320	640
17	640	1300
18	1300	2500
19	2000	5000

8.6. Obsah vody

Přítomnost vody v oleji je vždy nežádoucí. Voda značně ovlivňuje vlastnosti maziva, jako jsou zhoršování aditiv, pění oleje, zvyšování viskozity, tvorba kalů, emulze atd. Kvůli vlhkosti a kondenzaci se s vodou v oleji setkáme téměř vždy. Smluvní parametr minimálního hmotnostního obsahu vody v oleji jsou 0,2%.

Coulometrická zkouška

Vypracoval ji K. Fisher a definuje ji norma ČSN 65 0330. Je to přesná metoda, kterou určujeme stopové množství vody za pomoci jódu J_2 . Ten se v titrační nádobce za pomoci proudu uvolňuje a reaguje s vodou. Sledujeme množství proudu, kterého je potřeba k uvolnění jódu, který s vodou reaguje.



Obr. 43 Coulometer

Tab. 14 Naměřené hodnoty obsahu vody

Stroj	Obsah vody v %
E14	0.0157
E18	0,0033
E26	0,0161

Z tabulky 13 vidíme, že obsah vody v odebraných vzorcích je minimální.

8.7. Atomová spektrometrie

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [13], [14].

Pro analýzu vzorků byl použit rentgenový fluorescenční spektrometr XEPOS od firmy SPECTRO. Spektrometr využívá energo disperzní rentgenovou fluorescenční technologii. Metoda je nedestruktivní a spolehlivá. Je vhodná pro velkou škálu materiálů.

Pro měření se využívá speciálních terčů, na které se umístí velmi malý vzorek oleje. Ten se vloží do přístroje, kde je prozářen vysokoenergetickým rentgenovým zářením. To vybudí elektron z jednotlivých prvků a je snímán detektorem, který mění energii fotonů na elektrické pulzy. Analyzuje se celé spektrum najednou pomocí polovodičových detektorů.



Obr. 44 Rentgenový fluorescenční spektrometr SPECTRO XEPOS

Pomocí této metody jsme dostali následující data:

Tab. 15 Tabulka otěrových kovů

Otěrový kov/vzorek	Referenční	E14	E18	E26
Fe – železo	< 1,0 ppm	< 1,0 ppm	< 1,0 ppm	< 1,0 ppm
Cu – měď	2,3ppm	2.7 ppm	2.9 ppm	2.8 ppm
Cr – chrom	5,8ppm	7,5ppm	8,4ppm	6,4ppm
Al – hliník	< 20ppm	< 20ppm	< 20ppm	< 20ppm
Ni – nikl	1,7ppm	1,9ppm	1,8ppm	1,5ppm
Pb – olovo	< 0,1ppm	0,3ppm	0,2ppm	0,3ppm
Sn – cín	< 3,0ppm	< 3,0ppm	< 3,0ppm	< 3,0ppm
Si – křemík	< 5,1ppm	< 5,1ppm	< 5,1ppm	< 5,1ppm
Ag – stříbro	< 2,0ppm	< 2,0ppm	< 2,0ppm	< 2,0ppm

Otěrové kovy vzorků E14, E18 a E26 se nijak zvlášť neliší od referenčního vzorku.

Tab. 16 Tabulka prvků

Stroj/prvek	Referenční MH 64	E14	E18	E26
Sulfur	3131 ppm	3389 ppm	4244 ppm	6402 ppm
Sodium	1186 ppm	1099 ppm	988 ppm	1005 ppm
Fosfor	191,7 ppm	222,9 ppm	253,6 ppm	257,2 ppm
Zinek	184,6 ppm	217,2 ppm	242 ppm	207,4 ppm
Kalcium	31,2 ppm	36,6 ppm	40,3 ppm	36,5 ppm
Tantalum	12,6 ppm	13,9 ppm	15,1 ppm	10,3 ppm
Kobalt	10,5 ppm	11,5 ppm	10 ppm	8,8 ppm

9. Vyhodnocení měření

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [12].

9.1. Zhodnocení vibrací

Diagnostikované stroje, respektive elektromotory a čerpadla, jsou v dobrém stavu. Ve většině případů jsou efektivní hodnoty rychlostí a zrychlení, které jsem vyhodnocoval dle normy ČSN ISO 10 816-3, v oblasti A/B. Část hodnot je v oblasti B/C a pouze pět hodnot se dostává do pásma C/D.

Oblast A – zde jsou vibrace nových přejímaných strojů.

Oblast B – pokud se vyskytnou vibrace v tomto pásmu, může být stroj provozován neomezeně dlouho.

Oblast C – Stroj, kterému náleží vibrace v této oblasti, by neměl mít dlouhodobý provoz. Vibrace by se měly co nejdříve lokalizovat a odstranit.

Oblast D – Vibrace v této oblasti jsou považovány za natolik nebezpečné, že mohou způsobit poruchu stroje.

Stroj E14 – V nezatíženém provozu je stroj naprosto v pořádku, avšak při zatížení dochází ke značnému zvýšení efektivních hodnot vibrací v měřicím místě L1 a L3. Proto bych zde doporučil další sérii měření. V případě zhoršení hodnot by bylo vhodné provést opravu.

Stroj E18 – V tomto případě dochází k opačnému jevu. V zatíženém stavu jsou hodnoty rychlosti a zrychlení v oblasti A/B (při třetím měření ložiska čerpadla B/C), avšak při chodu na prázdno jsou zde značně zvýšené hodnoty zrychlení v měřicím bodě L3. Opět bych doporučil další sérii měření, avšak zde stačí sledovat stav čerpadla.

Stroj E26 – Hodnoty tohoto stroje se pohybují v pásmu A/B a B/C. Určitě bych doporučil další měření. Může se jednat o nedostatečné mazání, proto by bylo vhodné zkontrolovat mazivo, popřípadě ho doplnit.

Stroj E33 – Zde jsem provedl pouze dvě měření v zatíženém chodu. Při prvním měření tohoto stroje se vyskytly zvýšené efektivní hodnoty rychlosti v měřeném místě L1, ale při druhém už ne. Mohlo se jednat o uvolněný šroubový spoj, který byl posléze dotažen, popřípadě o podobnou závadu. Ke konkrétní analýze by bylo za potřebí více dat. Zbylé hodnoty jsou v oblasti A/B.

9.2. Zhodnocení stavu oleje

Kinematická viskozita je v pořádku, jelikož výsledky měření kinematické viskozity při 40°C jsou v hodnotách daných normou.

Číslo celkové kyselosti v porovnání s referenčním vzorkem je také v pořádku, až na velmi mírné zvýšení u stroje E 14.

Obsah vody v odebraných vzorcích je minimální.

Kód čistoty, který jsem stanovil, dle normy ISO 4406 ukazuje, že největší znečištění je u stroje E 26. Zde je kód čistoty 19/18/16. Doporučil bych okamžitou filtraci oleje.

Rentgenovou spektrometrií jsem získal hodnoty otěrových kovů v oleji. Ty se nijak významně neliší od referenčního vzorku.

10. Závěr

Cílem mé práce byla aplikace technické diagnostiky v plastikářské firmě. Technická diagnostika by měla pomoci zkvalitnit výrobu.

Ve firmě PF PLASTY CZ s.r.o. jsem na strojích ENGEL Victory aplikoval vibrodiagnostiku a tribodiagnostiku.

Při vibrodiagnostickém měření a analýze jsem zjistil, že na všech strojích dochází k většímu či menšímu nárůstu vibrací. Nejhuře na tom je stroj E14, kde se projevuje poškození pístů čerpadla.

Tribodiagnostika odhalila, že většina parametrů oleje je v pořádku, avšak u stroje E26 je velmi vysoký kód čistoty. Avšak olej ve stroji E26 je už v provozu čtyři roky, to znamená, že stroj čeká na celkovou výměnu oleje. Jelikož olej má všechny přísady, doporučil bych pouze filtraci. Po filtraci by se olej mohl využívat minimálně dalšího půl roku, což by bylo ekonomicky velmi výhodné.

Analýza strojů ENGEL Victory ukázala, že ne vše je v perfektním stavu. Závady jsou časté, ne však velké, ale i ty by mohly časem přerůst do poškození nějaké součásti. Proto bych zde doporučil pravidelnou technickou diagnostiku, která by předem odhalila poruchy a závady. To by pak vedlo k lepší údržbě strojů.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Blatovi, Ph.D., za jeho trpělivost a věcnou kritiku. Dále bych chtěl poděkovat firmě PF PLASTY CZ s.r.o. za to, že mi umožnili provést měření na strojích ENGEL a za ochotu zaměstnancům, kteří se mi věnovali. Poděkování patří také Mgr. Renatě Řádkové a Mgr. Šárce Kupkové za jazykovou korekci.

Jan Stuchlý

Použitá literatura

- [1] PF PLASTY CZ s.r.o. [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.pfplasty.cz/o-spolecnosti/>
- [2] PŘEHNAL, Jan. *TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉHO KRYTU MOBILNÍHO TELEFONU* [online]. Brno, 2008 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/16772/2008_DP_Prehnal_Jan_48754_Technologie_vyroby_plastoveho_krytu_mobilniho_telefonu.pdf?sequence=2. Diplomová práce. VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNE. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.
- [3] Asyndar [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.asyndar.com/Pages/vstrikovani-princip.aspx>
- [4] OPRAVY ELEKTROMOTORŮ PLZEŇ [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.navijarna.com/clanky/co-je-elektromotor.html>
- [5] *Elektrické stroje točivé* [online]. 2012 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.isstechn.cz/objekty/vy-32-inovace-h-3-15.pdf>. Integrovaná střední škola technická Mělník, K učilišti 2566, 276 01 Mělník.
- [6] JANALÍK, Jaroslav. *VYBRANÉ KAPITOLY Z MECHANIKY TEKUTIN*. Ostrava, 2008. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.
- [7] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav. *Technická diagnostika: senzory - metody - analýza signálu*. Praha: Technická literatura BEN, 2006. ISBN 80-7300-158-6.
- [8] [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/FSD.pdf>
- [9] BLATA, Jan; JURASZEK, Janusz. *Metody technické diagnostiky teorie a praxe* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/18-MetodyTechnickeDiagnostiky.pdf>
- [10] HELEBRANT, František; ZIEGLER, Jiří; MARASOVÁ, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost Díl I.: Tribodiagnostika*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 155 s. ISBN 80-707-8883-6.
- [11] Adash [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://www.adash.cz/doc/a4400/A4400_VA4_CZ.pdf

[12] ROZSYPÁLEK, Ivo. *Technická diagnostika obráběcích strojů* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/93825>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Vedoucí práce BLATA, Jan.

[13] *SPECTRO* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://representatives.spectro.com/spectro-cz/products/xrf/xepos>

[14] KOPLÍK, Richard. Atomová spektrometrie [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://web.vscht.cz/~koplikr/Atomová%20%20spektrometrie.pdf>

Seznam příloh

Příloha A	Tribologická zpráva olejového vzorku ze stroje E14
Příloha B	Tribologická zpráva olejového vzorku ze stroje E18
Příloha C	Tribologická zpráva olejového vzorku ze stroje E26